

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



**Беломорская студенческая  
научная сессия СПбГУ – 2019**

*Тезисы докладов*

Санкт-Петербург

2019

Ответственный редактор:

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

Редакторы:

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

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

А. Б. Цетлин, д. б. н., профессор, директор Беломорской биологической станции  
им. Н. А. Перцова МГУ

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

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

Г. С. Слюсарев, д. б. н., профессор кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ

**Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2019. Тезисы докладов.** — Санкт-Петербург: Свое издательство, 2019. — 85 с.

ISBN 978-5-4386-1678-8

Сборник включает материалы конференции «Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2019», которая состоялась 8 февраля 2019 г. в Санкт-Петербурге. Основная миссия конференции — поддерживать и развивать энтузиазм студентов и аспирантов, которые начинают свою научную карьеру в исследованиях, связанных с Арктикой. На конференции молодые участники не только представляют собственные результаты, но и получают возможность учиться у экспертов в разных областях арктических исследований — приглашенных докладчиков. Особый акцент мероприятия — на создании наиболее благоприятных условий для установления контактов между студентами и их будущими работодателями и формирования междисциплинарных проектов, связанных с Арктикой. Участники сессии — студенты и аспиранты СПбГУ, МГУ им. М. В. Ломоносова, Казанского федерального университета, а также ряда других вузов и академических институтов, которые специализируются в разных областях биологии, географии, геологии, физики. Авторы приглашенных докладов — специалисты из Мурманского морского биологического института КНЦ РАН, СПбГУ, Института географии РАН, Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН.

Конференция проходила при финансовой поддержке Центра комплексных морских исследований СПбГУ, Центра морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова и команды «Waterleven».



ЦМИ  
МГУ



## СОДЕРЖАНИЕ

### Приглашенные доклады

- Воскобойников Г. М. Возможная роль водорослей-макрофитов в очистке прибрежных акваторий от нефтепродуктов: от теории к практике . . . . . 8
- Стрелков П. П., Шунатова Н. Н., Федюк М. Л., Гагарина А. В., Сказина М. А., Стогов И. А., Мовчан Е. А., Полякова Н. В., Иванов М. В., Иванова Т. С., Джелали П. А., Киреева М. А., Иванова А. В., Генельт-Яновский Е. А., Бобков А. А., Голдин С. В., Басова Л. А., Малавенда С. С., Краснова Е. Д. Реликтовое озеро Могильное (исследования 2003–2018 гг.) . . . . . 9
- Гудимов А. В., Perez T. Онлайн биомониторинг — поход в новую реальность . . . 11
- Мирошников А. Ю. Покровный ледник Северного острова (арх. Новая Земля) — новый источник радиоактивности в Арктике . . . . . 12
- Долгих А. В., Мергелов Н. С., Шоркунов И. Г. Органо-минеральные взаимодействия в наземных экосистемах в экстремальных условиях среды . . . . . 13

### Устные доклады студентов и аспирантов

- Даугавет М. А., Шабельников С. В., Шапошникова Т. Г., Адонин Л. С., Подгорная О. И. Участие бактериофага в горизонтальном переносе генов в геном оболочников (Tunicata) . 14
- Козлова С. Ю., Гавирова Л. А., Лавров А. И., Шестаков А. И. Разработка методики управляемого культивирования губок *Halisarca dujardini* для изучения их способности к ремедиации микробных загрязнений . . . . . 15
- Лепихина П. П., Канафина М. М., Голиков А. В., Сабиров Р. М. Мейобентос литорали Керетского архипелага . . . . . 16
- Серезжин И. Н., Ламова Я. А., Щербакова П. А. Изучение углеводородокисляющей активности морских аборигенных микроорганизмов при низких температурах . . . 17

### Постерные доклады

- Алексеева Н. В., Шунатова Н. Н. Анаморфный рост пикногонид: *Rusnagonum litorale* vs. *Nymphon brevirostre* . . . . . 18
- Аристов Д. А., Шевкопляс А. Е., Мусеев А. В. Разнообразие малакоценозов мелководных губ Кандалакшского залива (Белое море) и возможное влияние на них хищных улиток сем. Naticidae Guilding, 1834 . . . . . 19
- Ашуркова Т. П., Гайдамака А. О., Кремнев С. В. Участие Wnt/ $\beta$ -catenin сигнального пути в регуляции морфологической разметки первичного гидранта *Gonothyraea loveni* . . 20
- Бабкина И. Ю., Мальцева А. Л., Варфоломеева М. А., Михайлова Н. А., Гранович А. И. Влияние условий обитания (уровень литорали и наличие антропогенного загрязнения) на раннее развитие моллюсков *Littorina saxatilis* . . . . . 21

Банникова М. А., Заботин Я. И. Фауна и морфология наземных тихоходок ( <i>Eutardigrada</i> ) островов Керетского архипелага Белого моря . . . . .	22
Басова Л. А., Сухотин А. А. Адаптивные способности двустворчатого моллюска <i>Arctica islandica</i> (L.) (губа Чупа, Белое море) к изменениям солености среды . . . . .	23
Бахвалова А. Е., Иванова Т. С., Иванов М. В., Лайус Д. Л. Трехиглая колюшка <i>Gasterosteus aculeatus</i> L. в питании рыб на ее нерестилищах в Кандалакшском заливе Белого моря . . . . .	24
Вахрушева Д. А., Стогов И. А., Мовчан Е. А. Зоопланктон приустьевых участков рек Карельского побережья Белого моря . . . . .	25
Ветрова А. А., Багаева Т. С., Краус Ю. А., Кремнев С. В. Регуляция становления орально-аборальной оси в ходе развития <i>Dynatena pumila</i> (Linnaeus, 1758) . . . . .	26
Войтинский Ф. П., Волкова Е. Н., Кудрявцев А. А. Соленостные адаптации и видовое разнообразие морских амёб рода <i>Vexillifera</i> (Amoebozoa, Vexilliferidae) . . . . .	27
Волкова Д. Д., Салеева Д. А. Гидрохимическое и гидроэкологическое обследование устьевой зоны реки Кереть, Белого моря . . . . .	28
Гафарова А. Р., Полоскин А. В. Исследование фенотипического разнообразия моллюсков рода <i>Hydrobia</i> в Кандалакшском заливе Белого моря . . . . .	29
Гафарова Е. Р., Мальцева А. Л., Михайлова Н. А., Панова М. А., Гранович А. И. Сопоставление состава и изменчивости кишечной микробиоты в группе близких видов литоральных моллюсков рода <i>Littorina</i> . . . . .	30
Головин П. В., Бахвалова А. Е., Смирнова К. А., Иванов М. В., Иванова Т. С., Лайус Д. Л. Особенности смертности трехиглой колюшки <i>Gasterosteus aculeatus</i> L. в Белом море в нерестовый период . . . . .	31
Громова А. Д., Стогов И. А., Мовчан Е. А., Стрелков П. П. Вертикальное распределение зоопланктона озера Могильное (по материалам комплексной экспедиции МГУ, СПбГУ и МАГУ в 2018 г.) . . . . .	32
Демчук А. С., Иванов М. В., Иванова Т. С., Лайус Д. Л. Особенности питания мальков трехиглой колюшки <i>Gasterosteus aculeatus</i> (Linnaeus, 1758) в разных биотопах Кандалакшского залива Белого моря . . . . .	34
Доргам А. С., Иванова Т. С., Иванов М. В., Юрцева А. О., Лайус Д. Л. Половой диморфизм внешних морфологических признаков трехиглой колюшки . . . . .	35
Зайнуллина Б. Р., Хабибулина В. Р. Особенности мускулатуры планул <i>Aurelia aurita</i> и <i>Cyanea capillata</i> (Cnidaria: Scyphozoa) . . . . .	36
Зенков Е. А., Аристов Д. А. Экстенсивность инвазии популяций литоральных гастропод <i>Peringia ulvae</i> (Pennant 1777) трематодами птиц на небольшом заповедном острове в Кандалакшском заливе (Белое море) . . . . .	37
Зорина А. А. Беломорско-арктический бычок <i>Icelus bicornis</i> (Cottidae) и его отличия от <i>Icelus spatula</i> . . . . .	38

<i>Зорина Н. А., Бондаренко Н. И., Слюсарев Г. С. De novo сборка генома ортонектиды <i>Intoshia variabili</i></i>	39
<i>Иванов С. Д. Морфологические и экологические особенности видов красных водорослей <i>Coccotylus brodiei</i> и <i>C. truncatus</i> Белого моря</i>	40
<i>Илюткин С. А., Миролубов А. А., Лянгузова А. Д., Лапшин Н. Е., Борисенко И. Е., Нестеренко М. А., Добровольский А. А. Особенности строения полости интерны корнеголовых раков на примере представителей сем. Peltogastridae (Rhizocephala: Peltogastridae)</i>	41
<i>Карагодина Н. П., Вишняков А. Э., Островский А. Н. Бактериофаги как часть симбиотической системы хейлостомной мшанки <i>Scrupocellaria sinuosa</i> и ее бактериальных симбионтов</i>	42
<i>Киньябаева Э. Р., Токарев В. А. Геологическое строение четвертичных отложений пролива Великая Салма (Белое море) на основе сейсмоакустического профилирования</i>	43
<i>Козин В. В., Борисенко И. Е., Костюченко Р. П. Морфогенетическая роль <math>\beta</math>-катенина у <i>Alitta virens</i> (Spiralia, Annelida)</i>	45
<i>Койнова А. С., Вишняков А. Э., Лавров А. И., Ересковский А. В. Регенерация беломорской губки <i>Halichondria sitiens</i> (Demospongiae)</i>	46
<i>Кондакова Е. А., Иванов М. В., Иванова Т. С., Лайус Д. Л. Определение индивидуального вклада самок трехиглой колюшки <i>Gasterosteus aculeatus</i> в формирование кладки путем анализа стадий развития эмбрионов</i>	47
<i>Кремкова С. А., Беспярых А. В., Евтюгин В. Г. Определение возраста и изучение роста <i>Arctica islandica</i> (Bivalvia: Veneroidea) сублиторали о. Большой Горелый (губа Чупа, Белое море)</i>	48
<i>Кремнев Г. А., Крупенко Д. Ю., Щенков С. В., Гончар А. Г., Шишков А. Г. Переход от дискретного онтогенеза к непрерывному при сокращении путей циркуляции на примере трематод <i>Neophasis oculata</i> (Levinsen, 1881) Miller, 1941 и <i>Neophasis anarrhichae</i> (Nicoll, 1909) Bray, 1987 (Trematoda: Acanthocolpidae)</i>	49
<i>Купаева Д. М., Кремнев С. В. Анатомия и морфогенез колонии гидроидного полипа <i>Дупатена putila</i> (Linnaeus, 1758)</i>	50
<i>Курапов М. Ю., Ершова В. Б., Худoley А. К., Макарьев А. А., Макарьева Е. М. Каменноугольный магматизм Карского блока (Северный Таймыр)</i>	51
<i>Лемешева В. С., Тараховская Е. Р. Содержание флоротаннинов в двух субклеточных фракциях у 16 видов Беломорских бурых водорослей</i>	52
<i>Липатов М. А., Смагин Р. Е. Колебания уровня моря в губе Кереть Белого моря</i>	53
<i>Лисицына К. Н., Герасимова А. В. Сколько лет живут <i>Macoma calcarea</i> (Gmelin) в Белом море: определение возраста по внешней морфологии и спилам раковины</i>	54
<i>Лобов А. А., Мальцева А. Л., Бабкина И. Ю., Михайлова Н. А., Гранович А. И. Параспермальный белок LOSP как фактор репродуктивной изоляции криптических видов моллюсков рода <i>Littorina</i></i>	55

Лукиных А. И., Ежова О. В. Микроскопическая анатомия половой системы <i>Torquarator bullocki</i> (Torquaratoridae, Enteropneusta) из Берингова моря . . . . .	56
Лянгузова А. Д., Миролюбов А. А., Илюткин С. А., Лапшин Н. Е., Нестеренко М. А., Добровольский А. А. Особенности взаимодействия <i>Sacculina pilosella</i> и <i>Polyascus polygenea</i> (Rhizocephala: Sacculinidae) с нервной системой хозяина . . . . .	57
Мелентий А. Г., Цыбатова Е. В., Козин В. В., Костюченко Р. П. Консервативные регуляторные гены развития кишки из семейства <i>FoxA</i> : описание структурной организации и экспрессии у представителей типа Annelida . . . . .	58
Никанорова Д. Д., Шалаева А. Ю., Козин В. В., Костюченко Р. П. Сравнительный анализ клеточного размножения и тканевых перестроек при регенерации у аннелид . . . . .	59
Никитенко Е. Д., Ворцепнева Е. В. Спикульный аппарат голожаберных моллюсков семейства Onchidoridae (Mollusca, Nudibranchia, Doridacea) . . . . .	60
Новикова Е. Л., Старунов В. В., Нестеренко М. А., Кулакова М. А. <i>Rugospio elegans</i> : модель для изучения регенерации . . . . .	61
Пименов Т. П., Савильная А. А., Карасева Н. П., Темерева Е. Н., Храмова Ю. В., Римская-Корсакова Н. Н. Особенности организация трохофоры погонофоры <i>Siboglinum fiordicum</i> (Siboglinidae, Annelida): к вопросу о регионализации тела погонофор . . . . .	62
Рамодина Ю. И., Флячинская Л. П., Сухотин А. А. Сопряженность динамики обилия личинок мидий в планктоне и оседания спата на искусственные субстраты в Белом море . . . . .	63
Репкин Е. А., Ласкова Е. П., Мальцева А. Л., Варфоломеева М. А., Михайлова Н. А., Гранович А. И. Морфологическая и генетическая изменчивость метацеркарий <i>Microphallus piriformes</i> (Trematoda, Microphallidae) с побережий Белого и Баренцева морей . . . . .	64
Савельев П. Д., Генельт-Яновский Е. А., Рогожкина С. П., Иванов М. В. Использование интервальной съемки для исследования поведения и динамики численности трехиглой колюшки <i>Gasterosteus aculeatus</i> L. на нерестилищах . . . . .	65
Савильная А. А., Римская-Корсакова Н. Н. Локализация бактерий-симбионтов у погонофор <i>Siboglinum fiordicum</i> и <i>Oligobranchia haakonmosbiensis</i> (Siboglinidae): все же в эндодерме или мезодерме? . . . . .	66
Скалон Е. К., Слюсарев Г. С. «Плазмодий» ортонектид — что это?.. . . . .	67
Смирнова К. А., Бахвалова А. Е., Полякова Н. В., Иванова Т. С., Иванов М. В., Лайус Д. Л. Питание беломорской сельди ( <i>Clupea pallasii marisalbi</i> ) в прибрежной зоне в летний период в Кандалакшском заливе Белого моря . . . . .	68
Травкин В. С., Мамаджанян А. Г. Особенности распределения температуры воды в губе Кереть летом 2018 года . . . . .	69
Тылец М. И., Даугавет М. А., Шапошникова Т. Г. Тканеспецифичность белка р48 из морулярных клеток <i>Styela rustica</i> и наличие его гомологов у других видов асцидий Белого и Японского морей . . . . .	71

Урядова А. А., Крупенко Д. Ю. Трематоды семейства Fellodistomidae Белого моря: жизненные циклы и морфология . . . . .	72
Федосеева Н. В., Делиева М. Ю., Некрасова Е. В. Использование съемки в каналах водяного пара при анализе эволюции полярных циклонов по данным MODIS/ Terra, Aqua . . . . .	73
Федосеева Н. В., Ефимова Ю. В., Лопуха В. О. Анализ эволюции полярных мезовихрей по данным мультиспектральной спутниковой съемки . . . . .	74
Фролова В. С., Лавров А. И. Известковые губки: развитие из диссоциированных клеток . . . . .	75
Хайтов В. М., Шалагаева М. В. Биссусные прикрепления <i>Mytilus edulis</i> Linnaeus, 1758 и <i>M. trossulus</i> Gould, 1850: механизм подавления конкурента? . . . . .	76
Челомбиткин М. А., Лебедев Е. Е., Адонин Л. С. Транспозоны как основной предшественник мРНК в раннем эмбриональном развитии морского ежа . . . . .	77
Шалаева А. Ю., Костюченко Р. П., Козин В. В. Молекулярная эволюция компонентов FGF-сигналинга: первые данные о разнообразии лигандов и рецепторов у аннелид и моллюсков . . . . .	78
Шапкина А. О. Влияние температуры на бесполое размножение криптических видов <i>Aurelia</i> spp. (Cnidaria, Scyphozoa) из Белого, Черного, Японского морей . . . . .	79
Шафигулина Е. Е., Заботин Я. И. Сравнительно-анатомическое исследование сперматозоидов неоофорных турбеллярий Белого моря . . . . .	80
Шишков А. Г., Кремнев Г. А., Крупенко Д. Ю., Крапивин В. А., Гончар А. Г., Смирнов П. А., Бахвалова А. Е., Иванова Т. С., Иванов М. В. Жизненный цикл трематоды <i>Neophasis oculata</i> (Levinsen, 1881) Miller, 1941 (Trematoda: Acanthocolpidae) на Белом море . . . . .	81
Эверетт М. У. Таксономия полихет рода <i>Eteone</i> (Phyllodocidae) . . . . .	82
Юрикова Д. А. Связаны ли механизмы репродуктивной изоляции каляноидных копепод <i>Calanus glacialis</i> и <i>C. finmarchicus</i> со строением генитальных структур взрослых самок? . . . . .	83
Юрчак М. И., Мякишев М. С., Зеленников О. В. Влияние температуры воды на дифференцировку пола у молоди симы <i>Oncorhynchus masu</i> . . . . .	84
Яковлева Д. А., Кузнецова Д. А., Смагин Р. Е. Гидрология полуизолированного морского водоема в летний период (на примере «лагуны» в проливе Сухая Салма Белого моря) . . . . .	85

## ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ

### Возможная роль водорослей-макрофитов в очистке прибрежных акваторий от нефтепродуктов: от теории к практике

Воскобойников Г. М.\*

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

\* e-mail: voskoboynikov@mmbi.info

### *The possible role of macrophyte algae in the purification of coastal waters from petroleum products: from theory to practice*

*Voskoboynikov G.*

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS

В настоящее время отсутствуют технологии для окончательной, «финишной очистки», а также профилактической ежедневной очистки прибрежных акваторий от загрязнений нефтепродуктами, появляющимися в результате судоходства, деятельности береговых предприятий.

Показана способность обитателей литорали — водорослей рода *Fucus*, и сублиторали — рода *Saccharina*, образовывать симбиотические ассоциации с эпифитными углеводородокисляющими бактериями (УОБ). Отмечена роль симбиотической ассоциации водорослей и углеводородокисляющих бактерий (САВБ) в очистке морской воды от нефтепродуктов, возрастание углеводородокисляющей активности бактерий в зоне зарослей макрофитов. Отмечено, что количество УОБ на поверхности водорослей из загрязненных нефтепродуктами акваторий значительно выше по сравнению с водорослями из чистых мест обитания.

Высказано предположение, что УОБ преобразовывают нефтепродукты, аккумулированные на поверхности растений, делая их доступными для поглощения водорослями. Водоросли же в ассоциации выполняют не только роль субстрата для УОБ, снабжают бактерии кислородом, но и поглощают компоненты нефтепродуктов, осуществляют их деструкцию, включают в метаболизм.

Эксперименты продемонстрировали уменьшение концентрации внесенного летнего дизельного топлива в присутствии фукусов и ламинарии в воде в несколько раз с параллельным увеличением его содержания в талломе водорослей.

САВБ стала основой при создании плантации-биофильтра (санитарной водорослевой плантации — СВП) для очистки прибрежных акваторий от нефтяного загрязнения. СВП представляла собой инженерное сооружение, состоящее из двух компонентов: биотического — симбиотическая ассоциация: водоросли и бактерии, и остова — якоря и канаты разного диаметра: крепёжные и для размещения водорослей.

Водоросли в САВБ представлены двумя видами бурых водорослей: *Fucus vesiculosus* — фукус пузырчатый, и *Saccharina latissima* — сахарина большая.

*F. vesiculosus*, литоральный вид, обладает большой экологической пластичностью, обитает в открытых и защищенных местах, при океанической солености и в сильно опресненных местах (до 10 ‰), устойчив к ультрафиолету, осушению, воздействию отрицательных и положительных температур, нефтяному загрязнению. На СВП фукус очищает от нефтепродуктов поверхностные слои воды.

*S. latissima*, в отличие от фукуса, менее устойчива к влиянию факторов внешней среды, однако имеет большую площадь поверхности и возможность произрастания на глубинах до 20–25 метров. Очистка этих глубинных слоев воды и отводится *S. latissima*.

На основании анализа 16S рРНК определено, что доминирующими видами культивируемых эпифитных углеводородокисляющих бактерий, используемых в СВП у фукусовых водорослей из акваторий с разным уровнем нефтяного загрязнения, были *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas guinea*, *Ochrobactrum anthropi*, *Rhodococcus fascians*.

Плантация-биофильтр прошла успешную апробацию в заливах Баренцева и Белого моря. Расчеты показали, что 1 гектар санитарной водорослевой плантации за 15 дней может нейтрализовать более 100 кг дизельного топлива.



## Реликтовое озеро Могильное (исследования 2003–2018 гг.)

Стрелков П. П.<sup>1\*</sup>, Шунатова Н. Н.<sup>1</sup>, Федюк М. Л.<sup>1</sup>, Гагарина А. В.<sup>2</sup>, Сказина М. А.<sup>1</sup>, Стогов И. А.<sup>1</sup>, Мовчан Е. А.<sup>1</sup>, Полякова Н. В.<sup>1</sup>, Иванов М. В.<sup>1</sup>, Иванова Т. С.<sup>1</sup>, Джелали П. А.<sup>1</sup>, Киреева М. А.<sup>1</sup>, Иванова А. В.<sup>1</sup>, Генельт-Яновский Е. А.<sup>2</sup>, Бобков А. А.<sup>1</sup>, Голдин С. В.<sup>3</sup>, Басова Л. А.<sup>4</sup>, Малавенда С. С.<sup>5</sup>, Краснова Е. Д.<sup>6</sup>

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

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН

<sup>3</sup> Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

<sup>4</sup> Мурманский морской биологический институт РАН

<sup>5</sup> Мурманский государственный технический университет

<sup>6</sup> Беломорская биологическая станция им. Н. А. Перцова, МГУ им. М. В. Ломоносова

\* e-mail: p\_strelkov@yahoo.com

### *Marine Lake Mogilnoe (investigations of 2003-2018)*

*Strelkov P.<sup>1</sup>, Shunatova N.<sup>1</sup>, Fedyuk M.<sup>1</sup>, Gagarina A.<sup>2</sup>, Skazina M.<sup>1</sup>, Stogov I.<sup>1</sup>, Movchan E.<sup>1</sup>, Polyakova N.<sup>1</sup>, Ivanov M.<sup>1</sup>, Ivanova T.<sup>1</sup>, Dzelali P.<sup>1</sup>, Kireeva M.<sup>1</sup>, Ivanova A.<sup>1</sup>, Genelt-Yanovsky E.<sup>2</sup>, Bobkov A.<sup>1</sup>, Goldin S.<sup>3</sup>, Basova L.<sup>4</sup>, Malavenda S.<sup>5</sup>, Krasnova E.<sup>6</sup>*

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

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS

<sup>3</sup> Arctic and Antarctic Research Institute

<sup>4</sup> Murmansk Marine Biological Institute RAS

<sup>5</sup> Murmansk State Technical University

<sup>6</sup> Lomonosov Moscow State University, Nikolai Pertsov White Sea Biological Station

Согласно К. М. Дерюгину (1925), Могильное — маленькое пресноводно-морское меромиктическое озеро, в котором поверхностный слой воды пресный, придонный соленый и отравленный  $H_2S$ , а промежуточный соленый и аэрированный. Морская вода попадает в озеро под землей, просачиваясь через рыхлые земные породы. Озеро населяет небогатое сообщество организмов, в том числе медузы, актинии, губки, рыба треска. В планктоне сосуществуют пресноводные и морские виды. Некоторые обитатели озера — эндемики, продукты видообразования *in situ*.

Традиционно принимается, что экосистема оз. Могильного в высокой степени стабильна (структура толщи вод и биоразнообразии мало меняются во времени), существует в условиях изоляции (озерные популяции — изолированные генофонды), и что оз. Могильное «уникально» (других подобных водоемов нет). В докладе мы комментируем эти положения.

Морскими называют озера, которые сообщаются с морем (они — часть океана) и где обитают морские животные и растения. Различают озера-изоляты (land-locked waters), которые сообщаются с морем поверхностно, и анхиалиновые озера (anchialine lakes), которые сообщаются с морем под землей. В Арктике описаны озера-изоляты. Могильное — единственное изученное арктическое анхиалиновое озеро. В тропических анхиалиновых озерах часто встречаются сцифоидные медузы, актинии и губки («медузовые» озера), а в арктических изолятах — треска («тресковые» озера). Могильное уникально тем, что объединяет в себе самые характерные признаки морских озера, как анхиалиновых тропических, так и арктических озер-изолятов. Поскольку Могильное еще и старейшее по времени изучения морское озеро (с конца XIX века), его можно назвать архетипом морских озера во всех смыслах этого слова.

По геологическим данным, Могильное образовалось из морской лагуны 1–1,5 тысяч лет назад (Митяев и др., 2008). Период планомерных исследований озера составляет примерно 10 % его геологического возраста. Ни одно морское озеро не наблюдалось учеными так долго, как Могильное. Поэтому о вековой динамике морских озера по данным прямых наблюдений мы можем судить только на примере этого водоема. Мы участвовали в мониторинге озера последние 15 лет. Полученные данные позволяют, в том числе, оценить масштаб декадной динамики экосистемы, которая оказалась неожиданно большой, и «негативной». Негативной в том смысле, что озеро теряет свои уникальные и публично привлекательные черты.

Согласно гипотезе, если озерные популяции существуют в условиях долгосрочной изоляции от «родительских» морских популяций, то генетическая изменчивость в них должна быть понижена из-за действия генетического дрейфа. Мы сравнили популяции 11 видов из озера и из сопредельных районов моря по митохондриальным признакам. За единственным исключением все виды демонстрируют тенденцию к пониженной изменчивости в озере (в среднем, на 60 %). Поскольку изученные животные представляют разные репродуктивные стратегии, жизненные формы и трофические уровни, мы заключаем, что животное макросообщество озера действительно существует в условиях изоляции.

*Работа выполнена при поддержке Русского географического общества (договор 13-218-Р).*

## Онлайн биомониторинг — поход в новую реальность

Гудимов А. В.<sup>1\*</sup>, Perez T.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, лаборатория зообентоса

<sup>2</sup> Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale

\* e-mail: alexgud@mail.ru

### *Online biomonitoring — a hike in a new reality*

*Gudimov A.<sup>1</sup> Perez T.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Murmansk Marine Biological Institute of KSC of RAS, zoobenthos laboratory

<sup>2</sup> Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale

До последнего времени исследование жизни было, фактически, ограничено изучением результатов жизни — структур разных биологических уровней, от молекулярного и генетического до популяционного и биоценологического. Вместе с лабораторными экспериментами, в отрыве от взаимодействия со средой обитания, исследования жизни всегда остаются лишь косвенными. В результате обретаемого научного опыта мы чувствуем, что жизнь протекает где-то рядом, совсем близко, но мы не в ее русле (the truth is out there — «истина где-то рядом») и не держим руку на «пульсе жизни». Ведь жизнь заключается «не в организме и не в среде порознь...» — она «результат соприкосновения организма с окружающей его средой» (Клод Бернар). «Мастерская производства жизни», мониторинг «пульса жизни» (как вне, так и внутри организма) нам недоступны или представлены фрагментарно до тех пор, пока нет соответствующих инструментов исследования.

Первые прямые измерения и непрерывная регистрация (онлайн мониторинг) показателей активности организмов в естественных природных условиях стали технически возможны только в последнее время. Аппаратные средства и приборы перманентной регистрации функциональной активности водных животных-мониторов, в том числе в природных условиях, интенсивно внедряются начиная с 90-х годов XX столетия.

Разработанная на основе фундаментальных исследований (в ММБИ, 1985–2017) система непрерывного и оперативного (онлайн) биомониторинга (ОБС) — это полноценная технология автоматической регистрации активности двустворчатых моллюсков-биосенсоров и оценки качества природной среды по их поведенческим реакциям. Система включает оригинальную установку, технику и программу регистрации в режиме реального времени, удаленную передачу и обработку данных на сервере, с применением алгоритмов технологии онлайн-биомониторинга и оперативной биоиндикации.

Комплекс ОБС протестирован в природных условиях в течение двух лет непрерывного использования (2016–2018), и в настоящее время продолжает мониторинг в прибрежье Баренцева моря (биостанция ММБИ в п. Дальние Зеленцы).

ОБС впервые дает возможность проследить непрерывность процесса адаптации и изменения уровня активности организма в природных условиях в режиме реального времени. Обнаруженные факторные зависимости часто не совпадают с результатами лабораторных экспериментов, открывая новые реалии экологии видов и протекания жизненных процессов. Полученный опыт исследования текущей активности моллюсков и ее связи с многофакторной средой можно считать лишь «первой ласточкой», за которой с неизбежностью последуют методы онлайн мониторинга показателей жизнедеятельности других видов водных и наземных животных.

## Покровный ледник Северного острова (арх. Новая Земля) — новый источник радиоактивности в Арктике

Мирошников А. Ю.\*

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

\* e-mail: almir@igem.ru

### *Northern Island ice cap (Novaya Zemlya) — a new source of radioactivity in the Arctic*

*Miroshnikov A. Yu.*

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Biochemistry RAS

Интенсивное экономическое освоение акваторий Северного Ледовитого океана и, прежде всего, окраинных шельфовых морей России сопряжено с возникновением высоких экологических рисков, в том числе и радиационных. Необходимость получения систематизированных детальных знаний о современном состоянии компонентов природной арктической среды и возможных его изменениях в будущем не вызывает сомнений.

Все источники техногенных радионуклидов, поступающих в арктические экосистемы, хорошо известны и широко представлены в литературе. Однако существующие сравнительные относительные и абсолютные количественные оценки зачастую крайне противоречивы и не всегда точны (Михайлов, 2006; Report..., 2010; Aarkrog, 1979; Сивинцев и др., 2005; Chumichev, 1995; Vakulovsky, 1993; Brungot et al, 1999; Матишов, Матишов, 2001; и мн. др.).

Главным источником поступления радиоактивного загрязнения в атмосферу, как известно, явились испытания ядерного оружия, которые проводились странами «ядерного клуба»: США, СССР, Великобританией, Францией и Китаем. К концу 1998 г. в мире было зафиксировано около 2100 ядерных испытаний, из которых около 500 были проведены в атмосфере, и именно они определили уровни и плотности глобальных выпадений радиоактивности на многие десятилетия. Свою долю, безусловно, внесли и аварии на предприятиях атомной отрасли.

На радиационное состояние Арктики существенное влияние оказали ядерные испытания, проводившиеся на Северном испытательном полигоне Новая Земля (СИПНЗ). Полигон был создан в июле 1954 года для испытаний ядерного оружия мегатонного класса. В период с сентября 1957 года по декабрь 1962 года на нем было произведено 88 воздушных ядерных взрывов, суммарное энерговыделение которых составило около 246 Мт в тротиловом эквиваленте и привело к поступлению в атмосферу не менее 20 млн. Ки радиоцезия и радиостронция. При этом неизвестная доля радионуклидов в виде локальных (местных) радиоактивных осадков попадала на поверхность ледников архипелага Новая Земля, площадь которых составляет около 20 тыс. км<sup>2</sup>.

В результате работ, проведенных нами в период 2015–2018 гг., на ледниках Северного острова (Северный Ледниковый Купол, Налли, Голубой, Серп и Молот) в различных компонентах окружающей среды в зоне абляции были установлены значительные уровни удельной активности <sup>137</sup>Cs, достигающие 5000 Бк/кг, а также обнаружены горячие частицы. Сравнение с ледниками Шпицбергена (Jotun Fonna Glacier и Hans Glacier), находящимися приблизительно на той же широте и отражающими уровень глобальных выпадений, показало, что уровни активности на ледниках Новой Земли выше более чем на ½ порядка.

Таким образом, покровный ледник Северного острова Новой Земли установлен нами как новый современный источник радиоактивности, ранее депонированной в тело ледника в зоне питания, а в настоящее время переместившейся в зону абляции.

## Органо-минеральные взаимодействия в наземных экосистемах в экстремальных условиях среды

Долгих А. В. \*, Мергелов Н. С., Шоркунов И. Г.

Институт географии РАН

\* e-mail: dolgikh@igras.ru

### *Organo-mineral interactions in the terrestrial ecosystems under extreme environmental conditions*

*Dolgikh A., Mergelov N., Shorkunov I.*

Institute of Geography RAS

В докладе рассматриваются особенности органо-минеральных взаимодействий в современных экстремальных условиях континентальной Антарктики на примере эндолитных систем. В эндолитных системах имеется верхний субаэральный слой массивно-кристаллической породы, подверженный воздействию внешних факторов и заселенный живыми организмами, синтезирующими и разлагающими органическое вещество. Происходит биогеохимическое выветривание исходной породы *in situ*, накапливаются и выносятся продукты трансформации породы, формируется вертикальная неоднородность в виде тонких (менее 1 см) горизонтов внутри породы. Эндолитные системы функционируют как почвы, так как обладают разветвленной трещинной сетью, по которой осуществляется перенос элементов. В таких почвоподобных телах (солоидах) «реактор» органо-минеральных взаимодействий — органогенный горизонт — находится не на поверхности, а внутри минерального каркаса. Основные продукты биогеохимического выветривания эндолитами породы — органо-минеральные пленки переменного состава и песчаный, пылеватый и глинистый мелкозем внутри породы. В процессе трансформации пород возникает полосчатая неоднородность и формируется элювиально-иллювиальная дифференциация, в первую очередь, по содержанию соединений железа и углерода. В условиях отсутствия сосудистых растений с корневыми системами эндолитные солоиды оазисов Восточной Антарктиды являются наиболее подходящими и «чистыми» современными природными моделями для изучения биоминеральных взаимодействий, которые могли происходить в докембрии, например, в системе цианобактерия — силикат или лишайник — силикат. Изучая такие процессы, а также эндолитные солоиды современными инструментальными методами в целом, мы, возможно, приближаемся к пониманию первых «шагов» почв на суше.

**Участие бактериофага в горизонтальном переносе генов в геном оболочников (Tunicata)**

Даугавет М. А.<sup>1\*</sup>, Шабельников С. В.<sup>2</sup>, Шапошникова Т. Г.<sup>3</sup>, Адонин Л. С.<sup>1</sup>, Подгорная О. И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт Цитологии РАН, группа некодирующей ДНК

<sup>2</sup> Институт Цитологии РАН, отдел внутриклеточной сигнализации и транспорта

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра цитологии и гистологии

\* e-mail: kabtank@yandex.ru

***Bacteriophage is involved in horizontal gene transfer into the tunicates genome***

Daugavet M. A.<sup>1</sup>, Shabelnikov S. V.<sup>2</sup>, Shaposhnikova T. G.<sup>3</sup>, Adonin L. S.<sup>1</sup>, Podgornaya O. I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Cytology RAS, Group for study the Non-coding DNA

<sup>2</sup> Institute of Cytology RAS, Department of Intracellular Signaling and Transport

<sup>3</sup> Saint Petersburg State University, Department of Cytology and Histology

1. Обмен генетическим материалом между неродственными организмами называют горизонтальным переносом генов (ГПГ). Один из примеров ГПГ из генома прокариот в геном животных описан для оболочников (Tunicata). Показано, что ген целлюлозосинтазы оболочников имеет бактериальное происхождение, и его донором считается бактерия *Streptomyces* sp.

2. В нашей работе был описан новый белок представителя оболочников, асцидии *Styela rustica*, рустикалин. Схожие последовательности в базах данных обнаружены для представителей Placozoa, кораллов и низших хордовых. В структуре рустикалина и предполагаемых гомологов предсказано присутствие двух структурных доменов: N-концевого домена и C-концевого домена. Последовательность N-концевого домена демонстрирует сходство с ингибитором карбоксипептидазы, тогда как последовательность C-концевого домена демонстрирует сходство с ферментом карбоксипептидазой. Максимальное сходство C-концевого домена наблюдается с прокариотическими белками: карбоксипептидазами бактерий, а также с L-аланил-D-глутамат-пептидазой бактериофага A500. В то же время нами показано, что ген гомолога рустикалина у асцидии *Ciona intestinalis* содержит последовательность, схожую с сайтом встраивания бактериофага A500. На основании этих данных можно сделать вывод, что нуклеотидная последовательность C-концевого домена рустикалина имеет бактериальное происхождение и могла быть перенесена в геном асцидий бактериофагом.

3. Для анализа второго случая ГПГ у оболочников мы рассмотрели геном бактерии *Streptomyces* sp., вероятного донора фермента целлюлозосинтазы. Ген каталитической субъединицы целлюлозосинтазы в этом геноме находится рядом с последовательностью, схожей с сайтом встраивания бактериофага A500. Можно предполагать, что встраивание и вырезание бактериофага могло послужить причиной переноса гена каталитической субъединицы целлюлозосинтазы в геном оболочников. Таким образом, по крайней мере, для двух случаев ГПГ в геном оболочников можно предложить единый механизм, основанный на встраивании бактериофага.

Проект выполнен при поддержке Гранта РФФИ (15-04-06008-а) и программы президиума РАН «Молекулярная и клеточная биология» (01.2.01457147).

## Разработка методики управляемого культивирования губок *HALISARCA DUJARDINII* для изучения их способности к ремедиации микробных загрязнений

Козлова С. Ю.<sup>1\*</sup>, Гавирова Л. А.<sup>1</sup>, Лавров А. И.<sup>2,3,4</sup>, Шестаков А. И.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, биологический факультет, Беломорская биологическая станция им. Н. А. Перцова

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

<sup>4</sup> Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН

\* e-mail: sveta.cozlowa2010@yandex.ru

### *Development of the method for the controlled cultivation of Halisarca dujardinii sponges to study their ability to utilise microbial pollution*

Kozlova S. Yu.<sup>1</sup>, Gavirova L. A.<sup>1</sup>, Lavrov A. I.<sup>2,3,4</sup>, Shestakov A. I.<sup>1</sup>

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

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

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

<sup>4</sup> Koltzov Institute of Developmental Biology of Russian Academy of Sciences

Большинство губок (тип Porifera) по типу питания относится к неселективным фильтра-торам: они могут питаться как бактериями и вирусами, так и простейшими. Фильтрация идет с высокой скоростью, поэтому губок можно рассматривать в качестве эффективных биофильтров для устранения микробных загрязнений воды в искусственных и естественных условиях. В работе изучалась беломорская губка *Halisarca dujardinii* Johnston, 1842, основным объектом питания которой являются микроорганизмы. Для определения способности губок к ремедиации микробных загрязнений была разработана методика управляемого культивирования губок в условиях проточного морского аквариума на Беломорской биологической станции МГУ им. Н. А. Перцова. Губок в специально разработанных мембранных модулях помещали в блок проточного аквариума. Мембранные модули представляли собой стеклянные емкости объемом 170 мл с двумя отверстиями. Верхнее отверстие закрывали ватно-марлевой пробкой, а нижнее — трековой мембраной с диаметром пор 0,22 мкм. Такая конструкция позволяла воде свободно циркулировать в модуле, обеспечивая поступление растворенного органического вещества и удаление продуктов обмена. Также модули позволили создать контролируемые микробные условия для изучения фильтрационной активности губок: после стерилизации модуля и внесения объектов мембрана не пропускала микроорганизмы из окружающей воды в модуль, а внесенные в модуль тест-культуры не вымывались из него. В качестве модели микробного загрязнения использовали суспензии клеток следующих микроорганизмов: *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*. Суспензии с высокими концентрациями клеток вносили в модули с губками, помещали модули в проточный аквариум. В качестве контроля использовали модули без губок. Концентрацию жизнеспособных клеток до и после культивирования определяли путем посева последовательных 10-кратных разведений на твердую питательную среду (метод Коха). Было установлено, что за 14 суток экспозиции количество микроорганизмов в контроле (модули без губок) снизилось, но осталось на достаточно высоком уровне. Количество микроорганизмов в мембранных модулях с губками снизилось на несколько порядков. В августе 2018 года, когда был поставлен эксперимент, в Белом море наблюдалась аномально высокая температура воды, что отражалось на физическом состоянии и, следовательно, фильтрующей способности губок. В ближайшее время планируется дальнейшая работа и проверка поставленной методики. Разработанные мембранные модули также позволяют проводить долговременное культивирование губок в контролируемых условиях с целью изучения ряда вопросов физиологии представителей типа Porifera. Данный метод также может быть использован при изучении симбиотических микроорганизмов губок, поскольку он позволяет культивировать губки без влияния микробиоты морской воды.

## Мейобентос литорали Керетского архипелага

Лепихина П. П. \*, Канафина М. М., Голиков А. В., Сабиров Р. М.

Казанский (Приволжский) федеральный университет

\* e-mail: lepikhina\_p@mail.ru

### *Meiobenthos of the intertidal zone of the Keret archipelago*

*Lepikhina P. P., Kanafina M. M., Golikov A. V., Sabirov R. M.*

Kazan Federal University

Обнаружение интерстициальных животных и выделение их в качестве отдельного размерного блока в донных экосистемах — это одно из центральных событий в биологии прошедшего столетия. Широкий научный интерес к изучению таксономического состава мейофауны в целом и ее отдельных групп объясняется необычными условиями существования организмов в капиллярных участках между частицами грунта, а также вкладом, вносимым мейобентосом в формирование пищевых цепей и в круговорот веществ и энергии (Гальцова, 1991). Необходимость выявления закономерностей пространственного распределения мейобентоса на отдельных акваториях Мирового Океана, в частности Белого моря, послужили целью проведения данной работы.

Материал для исследования был собран летом 2018 года в трех точках Керетского архипелага: № 1 — пролив Узкая Салма (координаты 66°28'N, 33°67'E), № 2 — западная сторона о. Большой Горелый (66°31'N, 33°61'E), № 3 — южная часть о. Матренин (66°31'N, 33°63'E). Сбор осуществлялся в шельфовой зоне при помощи трубоотборника диаметром 2 см и объемом 21 мл. Данный прибор позволяет изучить распределение организмов в толще грунта по горизонтам (за один горизонт принят 1 см, что соответствует 3 мл). При экстракции животных нами использовалась стандартная методика просеивания, позволяющая избежать потерь особей.

В целом состав мейобентоса характеризуется высоким видовым разнообразием — всего обнаружен 31 таксон, принадлежащий к 6 типам и 12 классам. Общая численность мейобентосных организмов на всех точках сбора варьирует от 136 до 219 особей (в среднем,  $177,3 \pm 35,0$ ). Большинство организмов (в среднем по трем станциям,  $51,8 \pm 10,9$  %) сконцентрировано в верхнем слое осадка. На последующих горизонтах в точках сбора № 1 и № 2 наблюдается снижение численности, причем в пробе с о. Большой Горелый обнаруживается полное исчезновение животных ниже 4-го горизонта, что обусловлено ухудшением условий обитания, а именно недоступностью кислорода и пищи. Наиболее часто встречающимися таксонами являются тип Nematoda (в среднем по трем станциям  $48,5 \pm 5,6$  % от общей численности) и отряд Harpacticoida ( $14,8 \pm 6,1$  %). Таксоцэн Nematoda представлен 5 отрядами и 10 семействами, при этом устойчивый доминирующий комплекс составляют семейства Desmodoridae, Hyalidae и Enoplidae, на долю которых приходится больше трети всех особей. К малочисленным группам, представленными одним-двумя видами, относятся Platyhelminthes, Cyclopoida, Ostracoda, Chelicerata. Из псевдомейобентоса обнаружены животные из типов Mollusca (78 особей) и Annelida (62 особи). Тип Foraminifera как часть мейобентоса большинством ученых рассматривается отдельно, так как он относится к простейшим. На исследуемой акватории на долю данного таксона приходится 6,5 % всего биоразнообразия, а массовым видом является *Harplophragmoides canariensis* (70,0 % от числа всех найденных видов фораминифер). Опираясь на полученные результаты, можно заключить, что большое видовое богатство и высокая плотность обитателей мейобентоса позволяют использовать их в качестве индикатора для экологического мониторинга водных экосистем.



## Изучение углеводородокисляющей активности морских аборигенных микроорганизмов при низких температурах

Серезкин И. Н.\*, Ламова Я. А., Щербакова П. А.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра микробиологии

\* e-mail: serejkinilya@gmail.com

### *Study of the activity of marine indigenous hydrocarbon-oxidizing microorganisms at low temperatures*

*Serezhkin I., Lamova I., Shcherbakova P.*

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Microbiology

В мировой практике для утилизации нефтяных разливов используются биопрепараты на основе углеводородокисляющих микроорганизмов. Они применяются на завершающей стадии мероприятий по ликвидации аварийных разливов. Для использования препаратов в арктическом регионе микроорганизмы в их составе должны быть адаптированы к пониженной температуре. Использование аборигенных микроорганизмов в данном случае наиболее целесообразно, так как при этом сокращается время адаптации микробных клеток не только к факторам среды, но и к загрязняющим веществам.

Целью работы является изучение активности морских аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов при низких температурах и оценка перспектив их использования в целях биоремедиации как хронических (локальных), так и аварийных разливов углеводородов.

В качестве материалов для работы были использованы пробы морской воды, грунта, растительной биомассы, отобранные в местах хронических углеводородных загрязнений побережья Белого и Баренцева моря. Для получения накопительных культур использовали модифицированную среду Таусона, г/л:  $K_2HPO_4$  — 1,5;  $KH_2PO_4$  — 0,75;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  — 1,0;  $(NH_4)_2SO_4$  — 4,0; NaCl — 30; гидролизат казеина — 0,5; дрожжевой экстракт — 0,1; pH 7,0. В качестве углеводородного субстрата использовали смесь товарной нефти и дизельного топлива в соотношении 1:1 по объему, вносимую в количестве 1 % по объему.

Культивирование микроорганизмов проводили в колбах емкостью 250 мл в орбитальном термостатируемом шейкере (130 об/мин) при +4 °С. Степень деструкции нефти определяли методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) на приборе DSA 100 KRUS с капиллярной колонкой DB-1ms (Agilent). В качестве контрольного образца использовали колбы со стерильной питательной средой с добавлением 1 мл смеси НД параллельно с опытными образцами.

После первичного посева 14 образцов и получения накопительных культур микроорганизмов было отобрано 9 сообществ микроорганизмов, проявлявших активность в отношении углеводородов. Критериями оценки служили изменение оптической плотности среды культивирования и образование эмульсии углеводородов. Условиями первичного скрининга стали пониженная температура и достаточная аэрация, что позволило целевым образом выделить психроактивные сообщества микроорганизмов.

Для выделенных сообществ микроорганизмов был проведен хроматографический анализ интенсивности убыли углеводородов в течение 10, 20 и 30 суток. Показано, что основная часть убыли приходится на период между 10 и 20 сутками культивирования. Для сообщества MN11, выделенного из образца, отобранного в портовой зоне г. Мурманск, после 20 суток культивирования интенсивность убыли составила 37,8 % и 22,9 % для среднекипящей и высококипящей фракции углеводородов соответственно. Количественный анализ относительной утилизации различных фракций алканов показывает высокую эффективность микробной деструкции углеводородов: для всей среднекипящей фракции после 30 суток культивирования она составляет более 50 %. Выделенные ассоциации микроорганизмов сохраняют стабильность в течение более 30 пересевов при +4 °С, что делает их перспективными для дальнейших биотехнологических разработок для биоремедиации углеводородных загрязнений арктического региона.

## ПОСТЕРНЫЕ ДОКЛАДЫ

### **Анаморфный рост пикногонид: *Pycnogonum litorale* vs. *Nymphon brevirostre***

Алексеева Н. В.\*, Шунатова Н. Н.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных

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

#### ***Anamorphic growth of pycnogonids: Pycnogonum litorale vs. Nymphon brevirostre***

Alexeeva N., Shunatova N.

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology

Пикногониды — небольшая группа морских хелицеровых, характеризующихся наличием анаморфного периода роста (АПР) в постэмбриональном развитии. Сведения о нем скудны; известно лишь, что в этот период происходят наиболее значимые процессы органогенеза. Для исследования выбраны два вида арктических пикногонид: типичный для данной группы *Nymphon brevirostre* и специализированный *Pycnogonum litorale*. Собранные взрослые особи послужили основой для постановки культуры. Весь материал был обработан согласно стандартным протоколам для световой и электронной микроскопии.

У обоих видов яйцо покидает личинка — округлый четырехсегментный протонимфон, обладающий хоботком, хелифорами и двумя парами личиночных ног. У *N. brevirostre* протонимфон питается, АПР включает семь стадий. У *P. litorale* личинка не питается, АПР включает только шесть стадий. На пятой стадии АПР у молоди *P. litorale* полностью резорбируются хелифоры и личиночные ноги, у *N. brevirostre* лишь личиночные ноги претерпевают редифференцировку и становятся почками пальп и яйценосных ножек (стадии V–VII). У представителей обоих видов последовательно формируются три свободных сегмента тела и абдомен.

Секреторный аппарат личинок *P. litorale* упрощен, включает только кожные и прядильные железы. Последние продуцируют прядильную нить только со второй стадии, тогда как у *N. brevirostre* прядильная нить присутствует уже у позднего эмбриона. Хоботковые железы, столь характерные для протонимфона *N. brevirostre*, формируются у *P. litorale* только на второй стадии АПР. Пищеварительная система у личинок обоих видов замкнутая. У протонимфонов *P. litorale* отсутствует цедильный аппарат (появляется на второй стадии); средняя кишка небольшая, дивертикулы короткие. У обоих видов закономерно закладываются дивертикулы ходных ног. У *P. litorale* к концу АПР последние становятся парными за счет формирования дорсальной ветви. На всех стадиях АПР у представителей *P. litorale* полость тела отсутствует, у *N. brevirostre* она, напротив, хорошо выражена и дифференцируется в ходе АПР: закладываются горизонтальная и вертикальная септы и сердце. Гонада у обоих видов формируется сходным образом: над кишкой последовательно формируются две пары зачатков, которые объединяются, образуя две вытянутые структуры. Организация ЦНС личинок обоих видов сопоставима, хотя нейромер первой пары ходных ног у *N. brevirostre* самостоятельный, а у *P. litorale* он входит в состав подглоточного ганглия. Динамика формирования нейромеров у обоих видов сходна, хотя вентральные органы *P. litorale* постепенно погружаются в ганглий, что не характерно для *N. brevirostre*.

Во внешне сходных протонимфонах и сопоставимой динамике АПР обоих видов выявлены многочисленные различия. Причиной тому служат как особенности экологии животных, в частности характер питания, так и особенности анатомии взрослых особей, накладывающие отпечаток на организацию молоди.

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

**Разнообразие малакоценозов мелководных губ Кандалакшского залива  
(Белое море) и возможное влияние на них хищных улиток  
сем. NATICIDAE GUILDING, 1834**

Аристов Д. А.<sup>1,2\*</sup>, Шевкопляс А. Е.<sup>2</sup>, Моисеев А. В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН

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

<sup>3</sup> Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена

\* e-mail: amauropsis@gmail.com

***Mollusc communities of shallow-water inlets of Kandalaksha Bay (White Sea) and possible influence  
of predatory snails of Naticidae family***

*Aristov D.<sup>1,2</sup>, Shevkoplyas A.<sup>2</sup>, Moiseev A.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute of RAS

<sup>2</sup> Laboratory of marine benthic ecology and Hydrobiology

<sup>3</sup> Herzen University

В высоких широтах основная регулирующая роль в поддержании структуры сообществ отводится абиотическим факторам. При этом мы имеем неполное представление о биотических связях в таких сообществах и недооцениваем влияние, например, хищников. Моллюски сем. Naticidae — удобный объект подобного рода исследований, поскольку, будучи всесветно распространенными морскими малакофагами, они могут прямо влиять на структуру малакофауны в местах своего обитания, а также, опосредованно — на сообщество в целом. Кроме того, их питание регистрируемо — перфорированные раковины жертв остаются в морских осадках, свидетельствуя о наличии этих улиток в данной географической точке, их рационе и размерных предпочтениях.

В Белом море встречены четыре вида натицид: *Amauropsis islandica*, *Cryptonatica affinis*, *Euspira pallida*, а также *Pseudopolinices nanus*, причем первые три способны выходить на литораль. Распространение натицид в Белом море изучено недостаточно, особенно в пределах мелководных илисто-песчаных губ, недоступных для исследования с крупных научных судов. Немного известно и о малакофауне таких местообитаний в целом. В связи с этим в июле-августе 2019 года нами были выбраны 6 небольших бухт в Кандалакшском заливе: четыре — в вершине залива (Южная губа о. Ряжков, безымянная губа о. Большой Ломнишный, Капшина губа, безымянная губа о. Демениха) и две — в районе Беломорской биостанции «Картеш» ЗИН РАН (Иванова губа и г. Ключиха о. Кереть). Все губы характеризовались небольшими глубинами (до 10 м), были закрытыми от прибоя. Дно илисто-песчаное, на литорали встречаются крупные валуны. В каждой бухте случайно брали по 10 проб литорального и сублиторального (с помощью легководолазного оборудования) грунта с площади ок. 1/30 кв. м., в которых учитывали моллюсков. Всего нами было обнаружено 28 видов моллюсков, 12 из них встречались только на литорали. Соотношение видов брюхоногих и двустворчатых моллюсков было примерно одинаковым в сублиторали, а приливно-отливной зоне — равным 8:4. Два вида натицид (*A. islandica* и *E. pallida*) мы обнаружили в четырех обследованных губах (кроме бухты на о. Демениха и Капшиной губы в вершине залива). На островах Большой Ломнишный и Ряжков натициды были отмечены в пределах литорали. Суммарная биомасса натицид в каждой бухте достоверно различается. В целом биомасса моллюсков выше в тех губах, в которых Naticidae не представлены, а суммарная биомасса остальных моллюсков связана с обилием хищников. При этом видовое богатство в бухтах с разной биомассой натицид не отличается.

Авторы благодарят администрацию Кандалакшского государственного заповедника за предоставленную возможность работы на его территории, а также участников 39 Беломорской экспедиции ЛЭМБ (ГИПС). Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ 18-34-00405.

## Участие Wnt/ $\beta$ -CATENIN сигнального пути в регуляции морфологической разметки первичного гидранта *GONOTHYRAEA LOVENI*

Ашуркова Т. П.\*, Гайдамака А. О., Кремнев С. В.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, кафедра эмбриологии

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

### *Involvement of Wnt/ $\beta$ -catenin signaling in the regulation of morphological patterning of Gonothyræa loveni primary hydranth*

Ashurkova T. P., Gaidamaka A. O., Kremnyov S. V.

Lomonosov Moscow State University, Department of Embryology

Канонический Wnt/ $\beta$ -catenin сигнальный путь — один из основных сигнальных путей, участвующих в раннем развитии животных. У одиночных полипов Cnidaria, таких как *Hydra* и *Nematostella*, канонический Wnt/ $\beta$ -catenin сигнальный путь отвечает за разметку орально-аборальной оси, и его основные компоненты экспрессируются преимущественно на оральном полюсе животного. При ингибировании Wnt-каскада у *Hydra* головных структур не образуется, при обработке активатором, он, напротив, вызывает образование эктопических щупалец на туловищном отделе.

Мы исследовали влияние ингибитора (iCRT14) и активатора (AZK) Wnt-каскада на формирование первичного гидранта *Gonothyræa loveni* — колониального гидроидного полипа, широко распространенного в зоне литорали Белого моря. Для данного вида характерен аннуляционный рост: в начале функционирования верхушки роста побега перисарк образует проксимальные аннуляции — плотно расположенные кольцевидные структуры, после чего идет зона гладкого роста, а затем следует вторая зона дистальных аннуляций, оканчивающаяся формированием гидранта. Предположительно, аннуляции отвечают за усиление жесткости перисарка, обеспечивая, таким образом, целостность колонии.

В ходе нашего исследования мы обнаружили, что ингибирование Wnt/ $\beta$ -catenin сигнального пути приводит к подавлению формирования гидрантов, причем данный эффект является дозозависимым и проявляется сильнее с повышением концентрации ингибитора. Средняя длина полипов, обработанных малыми концентрациями ингибитора, была больше контроля, но с увеличением концентрации ингибитора наблюдался обратный эффект. Примечательно также, что среди полипов, обработанных как активатором, так и ингибитором Wnt-каскада, в отличие от контрольных групп, встречались особи с исключительно аннуляционным ростом, однако данный эффект являлся дозозависимым только при изменении концентрации ингибитора: процент полипов с данным фенотипом увеличивался при увеличении концентрации iCRT14. В некоторых случаях Azk наоборот, вызывал уменьшение количества аннуляций первичного гидранта. Стоит также отметить, что процент полипов, имевших ветвления или столоны, не зависел от активности Wnt-каскада.

Мы предполагаем, что возникновение полипов с исключительно аннуляционным ростом вызвано подавлением роста гидранта и сохранением на конце первичного полипа функционирующей верхушки роста побега. Также остается открытым вопрос о том, каким образом Wnt-каскад участвует в более позднем развитии колонии. Данные проблемы представляют большой интерес в области изучения механизмов диверсификации планов строения тела у животных и требуют дальнейшего изучения.

## Влияние условий обитания (уровень литорали и наличие антропогенного загрязнения) на раннее развитие моллюсков *LITTORINA SAXATILIS*

Бабкина И. Ю.<sup>1\*</sup>, Мальцева А. Л.<sup>1</sup>, Варфоломеева М. А.<sup>1</sup>, Михайлова Н. А.<sup>2</sup>, Гранович А. И.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Институт Цитологии РАН, отдел клеточных культур

\* e-mail: kriska.irichka@gmail.com

### *The impact of habitat conditions (littoral level and anthropogenic pollution) on the early development of *Littorina saxatilis**

*Babkina I.<sup>1</sup>, Maltseva A.<sup>1</sup>, Varfolomeeva M.<sup>1</sup> Mikhailova N.<sup>2</sup>, Granovitch A.<sup>1</sup>*

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

<sup>2</sup> Institute of Cytology RAS, Department of Cell Culture

Моллюски *Littorina saxatilis*, обитающие в литоральной зоне северных морей, являются важным компонентом трофических цепей прибрежных экосистем. Приливно-отливная зона как среда обитания характеризуется резкими перепадами значений ряда экологических факторов (температуры, солености, влажности и [O<sub>2</sub>]). Эти местообитания являются местом потенциального накопления загрязняющих агентов антропогенного происхождения, которые могут оказывать токсическое воздействие на литоральную фауну в областях высокой экономической активности человека. *L. saxatilis* — яйцеживородящий вид; самки вынашивают молодь в выводковой сумке и отрождают сформировавшихся молодых моллюсков. Это позволяет по составу эмбрионов в выводковых сумках самок оценить плодовитость отдельных особей путем подсчета развивающихся эмбрионов, находящихся на различных стадиях развития. Аномально развивающиеся эмбрионы на ранних этапах дробления, велигеры, сформированные молодые моллюски с аномалиями развития легко отличаются от нормальных. Таким образом, помимо плодовитости отдельных самок, можно оценить количественно аномалии в развитии эмбрионов.

Цель нашей работы — охарактеризовать, насколько такие показатели, как средняя плодовитость и количество аномально развивающихся эмбрионов в потомстве в популяциях *L. saxatilis*, могут быть использованы для проведения экологического мониторинга антропогенного воздействия на прибрежные сообщества.

Материал собирали в летний сезон 2015 года из природных популяций трех точек: Абрам-мыс (Кольский залив, Баренцево море), Киберг (Варангер-фьорд, Баренцево море) и губа Яковлева (Белое море), из которых первая характеризуется сильным антропогенным загрязнением (Доклад 2015 года Министерства природных ресурсов и экологии Мурманской области). В каждом случае брали выборки моллюсков из верхнего и нижнего горизонтов литорали.

Анализ данных с помощью линейной модели с пуассоновским распределением остатков показал значимое влияние на число аномалий развития в потомстве таких предикторов как: горизонт литорали (выше в верхнем горизонте в 1,7 раза), возраст самки (выше в 1,8 раза с каждым годом жизни), размер самки (выше в 1,3 раза при увеличении высоты раковины на 1 мм) и размер выводка. Используя названные предикторы как ковариаты и наблюдаемые количества аномалий развития эмбрионов в исследуемых популяциях, мы предсказали число уродств в загрязненной и контрольных точках у самок одного возраста, размера раковины и плодовитости (достоверных различий в средней плодовитости и доли плодовитых самок между популяциями выявлено не было) соответственно горизонту литорали. При прочих равных условиях в популяции «Киберг» наблюдалось в 0,43 раза, а в популяции «Яковлева» в 0,49 раза меньшее число эмбрионов с аномалиями развития, чем в популяции «Абрам-мыс», что является наиболее сильным влиянием среди изученных факторов.

Таким образом, по-видимому, раннее развитие *L. saxatilis* весьма чувствительно к действию различных стрессорных воздействий (как природных, так и антропогенных) и может служить информативным показателем для мониторинговых экологических исследований.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ Норв\_Т 18-54-20001 с использованием оборудования ресурсных центров Научного парка СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Обсерватория экологической безопасности».

## Фауна и морфология наземных тихоходок (EUTARDIGRADA) островов Керетского архипелага Белого моря

Банникова М. А.\*, Заботин Я. И.

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

\* e-mail: bannikova\_mariya\_96@mail.ru

### *Fauna and morphology of terrestrial tardigrades (Eutardigrada) on islands of the Keretsky Archipelago of the White Sea*

Bannikova M. A., Zabolin Ya. I.

Kazan (Volga region) Federal University, Department of Zoology and General Biology

Тихоходки (Tardigrada) — тип микроскопических широко распространенных беспозвоночных животных. Они представляют большой научный интерес в качестве биоиндикаторов состояния окружающей среды, для изучения механизмов устойчивости к экстремальным условиям, в частности, к действию радиации, а также для реконструкции филогении членистоногих и близких к ним групп животных. В настоящее время описано более 1200 видов этой группы (Bingemer, Hohberg, 2017). Тем не менее, фауна тихоходок отдельных регионов России исследована недостаточно.

Целью данной работы было изучение фауны и внешней морфологии наземных тихоходок островов Керетского архипелага Белого моря. Диагностические особенности ротоглоточного аппарата и коготков исследовались с помощью световой и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Пробы мха были собраны летом 2017 г. в следующих точках: о. Средний, о. Медянка, о. Луда-Черемшиха, мыс Картеш и д. Кереть. В пробе с м. Картеш тихоходки обнаружены не были. Готовые временные препараты тихоходок просматривали при помощи светового микроскопа AxioImager. Для исследования с помощью СЭМ особи были зафиксированы целиком в 1 % глютаровом альдегиде на 0,1 М фосфатном буфере, подготовлены по традиционной схеме, затем исследовались и фотографировались с помощью СЭМ «MerlinZeiss» в Центре аналитической микроскопии КФУ.

В пробах было идентифицировано 4 вида тихоходок (систематика и таксономия приведены по Bingemer, Hohberg, 2017).

Класс Eutardigrada Marcus, 1927

Отряд Arochela Schuster et al., 1980

Семейство Milnesiidae Ramazzotti, 1962

Род *Milnesium* Doyere, 1840

*Milnesium tardigradum* Doyere, 1840

Отряд Parachela Schuster et al., 1980

Семейство Macrobiotidae Thulin, 1928

Род *Macrobiotus* Schultze, 1834

*Macrobiotus hufelandi* Schultze, 1834

Семейство Hypsibiidae Pilato, 1969

Род *Astatumen* Pilato, 1997

*Astatumen trinacriae* (Arcidiacono, 1962), syn. *Itaquascon trinacriae*

*A. tamaensis* (Sudzuki, 1975), syn. *Itaquascon tamaensis*

Наиболее массово в пробах встречались космополитические виды *Milnesium Tardigradum* и *Macrobiotus hufelandi*. Имеются литературные данные об обнаружении вида *Macrobiotus hufelandi* в озерах республики Карелия (Туманов, 1994). Напротив, два вида рода *Astatumen*, обнаруженные в единичных экземплярах, могут оказаться новыми для указанного региона. *A. trinacriae* — единственный вид рода *Astatumen*, описанный для европейских стран и России (Bingemer, Hohberg, 2017). Второй вид *A. tamaensis* ранее был обнаружен только в Японии (Ramazzotti, Maucsi, 1983) и предположительно является новым не только для России, но и для Европы.

## Адаптивные способности двустворчатого моллюска *ARCTICA ISLANDICA* (L.) (губа Чупа, Белое море) к изменениям солености среды

Басова Л. А.<sup>1\*</sup>, Сухотин А. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Мурманский морской биологический институт, лаборатория альгологии

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

\* e-mail: larisa.basova@gmail.com

### *Adaptive capacity of the bivalve mollusk *Arctica islandica* (L.) (Chupa Bay, White Sea) to changes of environmental salinity*

*Basova L.<sup>1</sup>, Sukhotin A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Murmansk Marine Biological Institute, Laboratory of Algology

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

Двустворчатый моллюск *Arctica islandica*, известный высокой продолжительностью жизни, является удобным объектом для мониторинга долгосрочной экологической и климатической динамики. Ранее мы показали, что обитающие в условиях пониженной и флуктуирующей солености популяции *A. islandica*, включая беломорские, характеризуются меньшей продолжительностью жизни, чем в районах с океанической соленостью. Колебания солености могут влиять на физиологические показатели осмоконформеров вследствие необходимости поддержания осмотического баланса и объема клеток. Резкие и длительные периоды распреснения могут приводить к нарушениям ферментативной активности, повреждению органелл и клеточных мембран. Мы предполагаем, что нестабильная среда и воздействие низкой солености требуют дополнительных энергетических резервов для поддержания гомеостаза *A. islandica*, что приводит к увеличению скорости метаболизма и сокращению продолжительности жизни. Цели данной работы: (1) определить нижнюю границу толерантного диапазона беломорских *A. islandica*, (2) изучить влияние низкой и флуктуирующей солености на изолирующий рефлекс *A. islandica*.

Исследование проводилось на ББС Картеш летом 2018 года. Животных содержали при температуре и солености среды обитания с ежедневной сменой 50 % воды. Диапазон соленостной толерантности оценивался согласно методу Фрая (Fry, 1971), модифицированному (Lajus, Sukhotin 1998) для изучения влияния солености. При снижении солености моллюски закрывают сифоны, изолируют мантийную полость, смыкая края мантии, а затем закрывают створки раковины. Увеличение солености стимулирует открытие раковины, затем мантийной полости, и возобновление фильтрации. После акклимации к лабораторным условиям, соленость в экспериментальных аквариумах каждые 30 минут понижали на 2 ‰. Снижение солености продолжалось до закрытия раковин всех моллюсков, после чего соленость увеличивали с той же скоростью, пока животные не открылись. Было проведено два цикла снижения-повышения солености. Перед каждым разведением регистрировали количество открытых, полуоткрытых (с закрытой мантией, но открытой раковиной) и закрытых моллюсков. В качестве показателя, характеризующего отношение организмов к солености, был выбран 50 %-ный отклик (50 % особей закрыты), рассчитанный с помощью сигмоидальной кривой дозы-отклика (Bliss, 1935). Соленость, соответствующую 50 % активности (EC50), считали нижней границей толерантности (Филиппов и др., 2003).

Было показано, что изоляция мантийной полости *A. islandica* при понижении солености начиналась при 15–17 ‰. При 5–7 ‰ все моллюски смыкали мантию, а большинство закрывали раковину. При повышении солености, начиная с 13–15 ‰, моллюски сначала открывали раковину, а затем размыкали мантию. Таким образом, EC50 была достоверно ниже при понижении солености (12,0 ‰), чем при повышении (19,7 ‰), причем эта закономерность сохранялась в разных размерных группах. Реакция *A. islandica* на изменения солености зависела от размера/возраста особей. Крупные моллюски (10–22 мг) закрывали раковину при более высокой солености, чем мелкие (2–6 мг) (14,5 ‰ против 11,0 ‰). При повышении солености, мелкие особи начинали открываться раньше, чем крупные (13,9 ‰ против 20,4 ‰). Без учета размерных различий нижняя граница соленостной толерантности неакклимированных беломорских *A. islandica* составила 12 ‰.

## Трехиглая колюшка *GASTEROSTEUS ACULEATUS L.* в питании рыб на ее нерестилищах в Кандалакшском заливе Белого моря

Бахвалова А. Е. \*, Иванова Т. С., Иванов М. В., Лайус Д. Л.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии

\* e-mail: nastyabakhvalova94@gmail.com

### *Threespine stickleback Gasterosteus aculeatus L. in fish feeding in its spawning grounds in Kandalaksha Bay, White sea*

*Bakhvalova A., Ivanova T., Ivanov M., Lajus D.*

Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology

За последнее столетие трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* испытывала значительные флуктуации численности в Белом море и в настоящее время является здесь наиболее многочисленным видом рыб. Колюшка проводит большую часть своей жизни в пелагиали, где формируется практически вся биомасса популяции. Во время нереста (конец мая–июнь) она подходит к берегам, где становится объектом питания хищников и поедает планктон и бентос, включаясь в трофическую цепь прибрежных сообществ. В связи с этим изучение колюшки, особенно ее роли в питании массовых видов рыб, актуально, так как исследование трофических связей ключевых видов крайне важно для понимания механизмов функционирования экосистемы.

Материал для исследования был собран в июне и августе 2018 года в районе Учебно-научной базы СПбГУ «Беломорская» с помощью жаберных сетей с ячейей 16–40 мм. Станции отбора проб — защищенные от волнения, имеющие относительно небольшие глубины (до 8 м) губы, на значительной части акватории которых в изобилии развивается фитобентос — *Zostera marina*, фукусовые водоросли.

У пойманных рыб измеряли длину, массу тела и фиксировали желудки 4 % раствором формальдегида. В лаборатории желудки (205 экз.) вскрывали, определяли кормовые объекты, измеряли их численность и массу. Для всех кормовых объектов была определена их доля массы в пищевом комке рыб.

Всего было поймано 13 видов рыб, самыми массовыми из которых были навага *Eleginus nawaga* W., керчак *Muohoscephalus scorpius* L., лиманда *Limanda limanda* L., полярная камбала *Liopsetta glacialis* P., треска *Gadus morhua* L. и сиг *Coregonus lavaretus* L.

В июне взрослые особи колюшки являются важным объектом питания керчака (24,8 % массы пищевого комка) и трески (22,9 %), которая также поедает и икру колюшки (3,4 %). Икра колюшки была обнаружена в небольших количествах в желудках лиманды (1,2 %), которая поедала в основном донных беспозвоночных Euphasiidae и *Alitta virens*.

Навага, полярная камбала и сиг в этот период не питались колюшкой вовсе. Ключевыми кормовыми объектами данных видов рыб являются донные беспозвоночные *Arenicola marina* и *A. virens*, *Mya arenaria* и *Peringia ulvae*.

В августе мальки колюшки наиболее значимы в питании наваги (9,7 % массы содержимого желудка). Также молодь колюшки была встречена в желудках трески и сига, составляя менее 4 % содержимого желудка. Ключевую роль в питании этих рыб играет песчанка *Ammodytes marinus* и *A. virens*, составляя в среднем 25 % массы пищевого комка.

Таким образом, трехиглая колюшка играет наиболее значительную роль в питании таких массовых рыб побережья Белого моря, как треска, навага и керчак. Значимость колюшки в питании хищников определяется ее сезонной динамикой и пространственным распределением. Взрослые особи доминируют в питании керчака. Молодь — важный кормовой объект наваги. Икра и взрослые особи колюшки — компоненты питания трески, которая также поедает молодь.

Проект выполняется при поддержке грантов РФФИ №18-34-00914 мол\_а «Соотношение полов у трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus* L.) Белого моря при адаптации к изменениям окружающей среды» и №18-04-01052 А «Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* как связующее звено между сообществами открытого моря и побережья Белого моря». Авторы выражают благодарность УНБ «Беломорская» СПбГУ за возможность сбора и обработки материала на Белом море.



# Зоопланктон приустьевых участков рек Карельского побережья Белого моря

Вахрушева Д. А.<sup>1\*</sup>, Стогов И. А.<sup>2</sup>, Мовчан Е. А.<sup>2</sup>

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

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

\* e-mail: dariav0204@yandex.ru

## *Zooplankton of Estuarine Waters of the Rivers of the Karelian Coast of the White Sea*

*Vakhrusheva D.<sup>1</sup>, Stogov I.<sup>2</sup>, Movchan E.<sup>2</sup>*

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

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

Внимание исследователей обычно привлекают крупные водные объекты, имеющие хозяйственное значение, множество же небольших рек Северной Карелии, нередко испытывающих антропогенное воздействие, остаются без должного внимания. Цель настоящего исследования — оценка качества воды и сапробного загрязнения приустьевых участков рек, впадающих в Кандалакшский залив Белого моря.

Материал собран на Учебно-научной базе «Беломорская» СПбГУ в приустьевых участках рек Пулонга, Чупа, Чупинка, Никольская, Летняя и ручья Средний в июле 2018 г., при этом оценивали основные физико-химические показатели воды. В системе Роскомгидромета для оценки качества вод по зоопланктону рекомендуется применять метод Пантле и Букка в модификации Сладечека. Пробы зоопланктона отбирали в прибрежной зоне водотоков фильтрацией 100 л воды через сито ячеей 100 мкм.

Физико-химические и биологические характеристики приведены в таблице.

Водотоки	река Пулонга	река Чупа	ручей Средний	река Чупинка	река Летняя	река Никольская
Физико-химические характеристики						
Температура, °С	17,9	20,6	20,4	16,7	19,2	17,3
рН	8,54	7,04	7,30	7,69	6,48	6,53
Электропроводность, мкСм/см	40,5	53,8	664	21,1	32,8	31,3
NO <sub>2</sub> , мг/л	0,003	0,001	0,001	0,004	0,005	0,006
NO <sub>3</sub> , мг/л	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2
NH <sub>4</sub> , мг/л	0,29	0,43	0,32	0,27	0,42	0,42
PO <sub>4</sub> , мг/л	1,9	7,1	2,1	1,8	2,8	5,0
Биологические характеристики						
Число видов зоопланктона	9	8	5	2	3	1
Число индикаторов	4	3	0	0	1	1
Численность, экз/м <sup>3</sup>	12660	5985	1250	111	1360	120
Индекс сапробности	1,425	1,264	-	-	1,20	1,20
Класс качества вод	2	2	-	-	2	2

В связи с кадастровым характером исследований результаты носят предварительный характер. Зафиксировано превышение ПДК (3,5 мг/л) для питьевой воды для фосфатного иона PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> в реках Чупа и Никольская. Если для р. Чупа, расположенной в черте одноименного городского поселения, это, скорее всего, носит антропогенный характер, то для р. Никольская, наиболее удаленной от населенных пунктов, неясно и требует дополнительного изучения. Другие физико-химические показатели в пределах нормы.

Состав зоопланктона беден, показатели обилия низки, что типично для большинства малых рек Северной Карелии. Интересно, что ветвистоусые ракообразные *Pleuroxus aduncus* отмечены в водотоках с наиболее высоким содержанием фосфатных ионов PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.

Малое число обнаруженных индикаторных форм не позволяет оценить качество воды во всех исследованных водотоках. Воды рек Пулонга, Чупа, Летняя и Никольская по величинам индекса сапробности Пантле-Букка (S = 1,2–1,5) могут быть отнесены к олигосапробным и соответствуют 2 классу качества вод.

## Регуляция становления орально-аборальной оси в ходе развития *Dynamena pumila* (Linnaeus, 1758)

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

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, кафедра эмбриологии, лаборатория биофизики развития

<sup>2</sup>Университет Вены, кафедра молекулярной эволюции и развития

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

<sup>4</sup>Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН, лаборатория эволюции морфогенезов

\* e-mail: lalavetrova@gmail.com

### **Regulation of oral-aboral axis specification during *Dynamena pumila* (Linnaeus, 1758) development**

Vetrova A.<sup>1</sup>, Bagaeva T.<sup>1,2</sup>, Kraus Y.<sup>3,4</sup>, Kremnyov S.<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Department of Embryology, Laboratory of Developmental Biophysics

<sup>2</sup>University of Vienna, Department of Molecular Evolution and Development

<sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University, Department of Evolutionary Biology

<sup>4</sup>Koltzov Institute of Developmental Biology RAS, Laboratory of Morphogenesis Evolution

Cnidaria — это обширный тип настоящих многоклеточных преимущественно морских животных. По данным, базирующимся на результатах молекулярной филогенетики, Cnidaria являются сестринским таксоном по отношению к билатерально-симметричным животным. В отличие от билатерально-симметричных животных, представители класса Meduzozoa типа Cnidaria обладают радиальной симметрией и одной главной орально-аборальной осью тела. Положение Cnidaria на филогенетическом древе позволяет использовать их в качестве важных моделей для решения вопросов, связанных с эволюцией плана строения тела и онтогенеза Metazoa.

Орально-аборальная ось у Cnidaria закладывается еще во время эмбрионального развития животного. Ключевую роль в установлении этой оси в ходе развития эмбрионов Cnidaria играет канонический Wnt/b-catenin сигнальный каскад, который является основой для поляризованного развития всех Metazoa. Компоненты канонического Wnt каскада, Wnt3 и Fzd3, соответственно маркируют оральный и аборальный полюса эмбриона Cnidaria. У *Clytia* и *Nematostella* оральный полюс определяет место начала гастрюляционных движений. У *Hydractinia* гастрюляция неполяризована, однако эмбрион на стадии гастрюлы обладает морфологическим градиентом, который совпадает с орально-аборальной осью. Поскольку не у всех Cnidaria гастрюляция зависит от направления орально-аборальной оси, представляется интересным исследовать, как связаны гастрюляция и становление этой оси у других видов.

Мы исследовали молекулярные механизмы становления орально-аборальной оси в ходе развития широко распространенного беломорского гидроидного полипа *Dynamena pumila* (Linnaeus, 1758). У *Dynamena* на стадии гастрюлы, в отличие от других видов Cnidaria, невозможно определить направление орально-аборальной оси по морфологическим признакам. Методом гибридизации *in situ* нами показано, что у *Dynamena* Wnt3 и Fzd3, маркирующие оральный и аборальный полюс, начинают ассиметрично экспрессироваться со стадии препланулы. Тогда же резко снижается характерный для предыдущих стадий эмбрионального развития *Dynamena* высокий уровень морфологической и морфогенетической изменчивости. Эти результаты свидетельствуют, что у *Dynamena* орально-аборальная ось окончательно устанавливается на поздних стадиях развития. Напротив, у всех остальных исследованных Cnidaria эта ось сформирована уже в яйцеклетке, и анимальный полюс яйцеклетки соответствует оральному полюсу животного. Кроме того, согласно нашим результатам в отличие от большинства других Cnidaria у *Dynamena* гастрюляция протекает независимо от орально-аборальной оси эмбриона.

В дальнейшем мы планируем исследовать экспрессию транскрипционных факторов Brachyury, которые предположительно являются мишенями канонического Wnt каскада. Уже получены паттерны экспрессии этих генов на стадии гастрюла-планула и данные, подтверждающие, что Bra1 находится под контролем канонического Wnt-каскада. На стадиях препланулы и планулы Bra1 и Bra2 экспрессируются в оральном регионе эмбриона, что совпадает с областью экспрессии Wnt3. В отличие от экспрессии Wnt, области экспрессии Bra1 и Bra2 коррелируют с морфологическими особенностями эмбриона на стадии гастрюлы.

Исследования выполняются при поддержке РФФИ, проект № 17-04- 01988а.

## Соленостные адаптации и видовое разнообразие морских амёб рода *Vexillifera* (Амoeвоzoa, Vexilliferidae)

Войтинский Ф. П.<sup>1,2\*</sup>, Волкова Е. Н.<sup>3</sup>, Кудрявцев А. А.<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup> Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, факультет биологии, кафедра зоологии.

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория клеточной и молекулярной протистологии

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

### *Salinity adaptations and species diversity of marine amoebae of the genus Vexillifera (Amoebozoa, Vexilliferidae)*

Voitinsky F. P.<sup>1,2</sup>, Volkova E. N.<sup>3</sup>, Kudryavtsev A. A.<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup> Herzen University, Faculty of Biology, Department of Zoology.

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

Одной из важнейших проблем современной протистологии является понимание закономерностей географического распространения различных видов одноклеточных эукариот и его зависимости от ключевых факторов внешней среды. Среди амёбоидных протистов (Amoebozoa) одной из наиболее широко распространенных в морских местообитаниях групп является род *Vexillifera* Schaeffer, 1926. Изучение толерантности различных видов этого рода по отношению к солености внешней среды важно для уточнения концепции вида у голых лобозных амёб и понимания закономерностей их распространения в биосфере. В настоящем сообщении мы представляем новые данные о биоразнообразии морских представителей этого рода, включая результаты изучения соленостной толерантности двух видов — *V. abyssalis* и *V. kereti*.

*V. abyssalis* выделена из пробы донных осадков Западной Атлантики, отобранных с глубины 4,5 км, что является первым зарегистрированным случаем встречи *Vexillifera* на такой глубине. Второй вид, *V. kereti*, был изолирован из мягких донных отложений Белого моря (глубина 106 м). Ожидалось, что *Vexillifera abyssalis* будет плохо переносить распреснение, так как в океане шанс распреснения очень мал, и будет приспособлена к более высоким показателям солености, чем стандартная океаническая. *V. kereti* же была найдена в Белом море, которое характерно сильной распресненностью. Однако соленость в глубоководной части моря, откуда был изолирован этот вид, составляла 29–30 ‰. Ожидается, что *V. kereti* покажет быстрый рост в воде с более низкими показателями солености, но будет гибнуть или замедлять рост в воде с высоким или даже средним показателем солености. Результаты проведенного нами экспериментального исследования показали, что оба вида лучше всего размножаются в культуре при 30 ‰, что соответствует солености их естественных местообитаний. *V. abyssalis* показала слабую устойчивость к распреснению, ослабив рост на отметке в 15 ‰ и погибая при 5 ‰. К повышенной же солености она показала большую устойчивость: было выявлено незначительное уменьшение скорости роста в воде 50 и 70 ‰. Было обнаружено, что этот вид растет и при 90 ‰, правда скорость этого роста крайне мала, около двух с половиной недель наблюдений понадобилось для визуального подтверждения роста. *V. kereti* показала сильную устойчивость к опреснению, выживая и делясь при 5 ‰ и 15 ‰. При показателе в 50 ‰ она сильно замедлила рост, и в воде с соленостью 70 ‰ не показала никакого роста и погибла. Также *V. kereti* не показала роста и погибла в воде с соленостью 0,5 ‰, таким образом закрепив нижнюю границу диапазона соленостной толерантности в районе 5 ‰.

Исследование выполнено с использованием оборудования ресурсных центров «Культивирование микроорганизмов» и «Развитие молекулярных и клеточных технологий» СПбГУ при поддержке гранта РФФИ 18-34-00726 мол\_а.

# Гидрохимическое и гидроэкологическое обследование устьевой зоны реки Кереть Белого моря

Волкова Д. Д.<sup>1\*</sup>, Салеева Д. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Комплексное изучение окружающей среды полярных регионов (CORELIS)

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Гидросфера и атмосфера: моделирование и прогноз

\* e-mail: dvolkova1996@mail.ru

## *Hydrochemical and hydroecological research of the Keret's river estuary zone, the White Sea*

*Volkova D.<sup>1</sup>, Saleeva D.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Cold Region Environmental Landscapes Integrated Sciences (CORELIS)

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Hydrosphere and Atmosphere: Modeling and Forecast

Устьевая область реки — это уникальный физико-географический объект, обладающий рядом особенностей. В Арктических морях физико-химические и биологические процессы протекают своеобразно и представляют большой интерес для изучения.

Местом исследования стала устьевая область реки Кереть, впадающей в Белое море. Обработка проб проводилась на Учебно-научной базе «Беломорская» СПбГУ на острове Среднем в период с 29 июля по 12 августа 2017 года.

**Целью исследований** являлось изучение пространственно-временных изменений гидрохимических и гидроэкологических особенностей устьевой области р. Керети в разные приливно-отливные фазы.

**Задачи исследований:**

1. отбор проб и измерение концентрации растворенного кислорода, рН, общей минерализации и электропроводности;
2. обработка проб на содержание минерального фосфора и аммонийного азота;
3. анализ пространственно-временных изменений гидрохимических параметров в пределах устьевой зоны в разные приливно-отливные фазы;
4. анализ изменения глубины прохождения границы речных и морских вод в зависимости от фазы приливно-отливных явлений в разных частях устьевой области;
5. определение первичной продукции и деструкции органического вещества;
6. оценка самоочищения водной экосистемы по продукционно-деструкционному отношению.

В ходе работ было отобрано 37 проб на разных точках и горизонтах. Значения минерализации изменялось от 17 до 23300 ppm по всей длине устьевой зоны. Водородный показатель варьировался от 6,5 до 7,8. В результате проведения обработки на минеральный фосфор и аммонийный азот в камеральных условиях выяснилось, что концентрация минерального фосфора в воде ниже предела обнаружения (< 0,01 мг/л). Что касается аммонийного азота, во всех пробах он был обнаружен в количествах, равных 0,1 мг/л. В устьевой области было выбрано место в заводи для определения БПК<sub>5</sub> и определения первичной продукции и деструкции органического вещества и проведены соответствующие измерения. БПК<sub>5</sub> было определено для большой и малой воды. В результате были получены следующие значения: 1,8 (9,1–7,9) мгО<sub>2</sub>/л и 4,3 (9,4–5,1) мгО<sub>2</sub>/л.

Было выявлено, что водородный показатель изменяется в фазу прилива значительно больше, чем в отлив. По мере продвижения от реки к морю значение водородного показателя воды возрастает.

В результате исследования была проведена комплексная оценка гидрохимических показателей, что позволило детально разобраться в связи химического состава воды с приливно-отливными фазами.

# Исследование фенотипического разнообразия моллюсков рода *Hydrobia* в Кандалакшском заливе Белого моря

Гафарова А. Р.<sup>1\*</sup>, Полоскин А. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Городской Дворец Творчества Юных

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

\* e-mail: lil.arinagaff@yandex.ru

## *Research on the phenotypic diversity of mollusks of the genus Hydrobia in the Kandalaksha Bay of the White Sea*

Gafarova A. R.<sup>1</sup>, Poloskin A. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg City Palace of Youth Creativity

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

Исследования, посвященные фенотипическому разнообразию организмов, являются базой для многих направлений систематики. Проведенная нами работа касается фенотипического разнообразия моллюсков *Hydrobia ulvae* на территории Кандалакшского залива Белого моря. Целью являлось изучение возможных вариаций окраски покровов головы и щупалец у *Hydrobia ulvae*. Для достижения цели были выявлены признаки и создана система этих признаков для описания отдельных особей.

Отбор проб производился в разных точках вершины Кандалакшского залива: на территории кордона Кандалакшского заповедника в Южной губе о. Ряжков, у островов Анисимов и Телячий и др., в верхнем и нижнем горизонте литорали, а также в сублиторали. Широкий разброс точек помогает усреднить данные для исследуемого вида в Белом море. Отобранные пробы промывались, из них выбирались моллюски и помещались в маркированные отсадники. Затем, сравнивая живых представителей вида под биноклем МБС-10, визуально подбирались части тела, на участках которых возможны вариации окраски. Такими зонами стали: щупальца, степень пигментированности которых варьирует; передние края дорзальной поверхности ротового хоботка (могли быть осветлены); и голова, на которой возможно наличие высветленного пятна в форме трапеции. Также учитывались такие отклонения, как асимметрия, поврежденность участков головы и возможная регенерация и явление разветвления щупалец.

Чтобы снизить аберрацию визуальной оценки, была составлена схема и придуман код, которым возможно описать комплект признаков. Код содержал 5 цифр, а значит мы оценивали особь по 5-ти признакам. Код заносился в таблицы, на основе которых планируется проведение дальнейших исследований. Для повышения достоверности визуальной оценки были выделены маркеры, помогающие в случае сомнений. Данной теме посвящен основной отдел нашей работы.

Чтобы полученные данные были нагляднее, нами была собрана коллекция моллюсков с различными проявлениями признаков, а затем создано фотосопровождение к работе.

Всего было обнаружено 9 основных вариантов комбинаций признаков у исследуемых моллюсков и ряд дополняющих многообразие отклонений.

В продолжение исследования мы планируем провести статистический анализ собранных данных, а также определить факторы окружающей среды, влияющие на проявления признаков. Один из предполагаемых факторов — количество ультрафиолетового излучения, попадающего на поверхности мягких тканей моллюсков.

## Сопоставление состава и изменчивости кишечной микробиоты в группе близких видов литоральных моллюсков рода *LITTORINA*

Гафарова Е. Р.<sup>1\*</sup>, Мальцева А. Л.<sup>1</sup>, Михайлова Н. А.<sup>2</sup>, Панова М. А.<sup>3</sup>, Гранович А. И.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Институт цитологии РАН, Центр клеточных технологий

<sup>3</sup> Гетеборгский университет, кафедра морских наук

\* e-mail: orhidea-palma@yandex.ru

### *Comparison of composition and variability of gut microbiota in closely related species of intertidal snails of the genus Littorina*

Gafarova E.<sup>1</sup>, Maltseva A.<sup>1</sup>, Mikhailova N.<sup>2</sup>, Panova M.<sup>3</sup>, Granovich A.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Institute of Cytology RAS, Center of Cell Technologies

<sup>3</sup> Gothenburg University, Dept. of Marine Sciences

Бактерии-симбионты — неотъемлемая составляющая экологии и физиологии представителей практически любого таксона многоклеточных. Наиболее детально в этом отношении изучены млекопитающие и насекомые, состав кишечных симбиотических сообществ которых влияет на многие аспекты функционирования организма. У этих животных присутствие нормальной микробиоты необходимо для эффективного пищеварения, влияет на развитие органов ЖКТ, половой и иммунной систем. Описано влияние состава симбиотической микробиоты на репродуктивное и пищевое поведение. Литоральные гастроподы широко распространенного рода *Littorina* представлены на европейских побережьях морей Северной Атлантики шестью видами, в том числе филогенетически близкими из подрода *Neritrema* (*L. saxatilis*, *L. arcana*, *L. compressa*, *L. obtusata*, *L. fabalis*). Уровень дифференцировки их экологических ниш до сих пор охарактеризован не полно: данные о составе сообществ кишечных микроорганизмов могут оказаться существенными для понимания экологических особенностей видов литторин и эволюционных факторов, определивших их дивергенцию. Проводимый анализ микробиома моллюсков учитывает влияние следующих факторов: вид хозяина, географический регион, уровень литорали, особенности биотопа. Для первичной оценки уровня разнообразия кишечного микробного сообщества была применена амплификация фрагмента 16S-рДНК с использованием материала передних и задних отделов кишечника самцов и самок *L. obtusata*, собранных в 2016 г. вблизи ББС Картеш, Белое море. Полученные ампликоны были секвенированы, последовательности использованы для установления систематического положения кишечных бактерий по алгоритму MOLE-BLAST по базе данных NCBI. На настоящий момент идентифицировано порядка 20 бактериальных линий, в частности, представители родов *Sphingomonas*, *Pseudomonas*, *Nitrobacter* и др., описанные в составе кишечных сообществ других беспозвоночных или средовых микробиомов арктической и антарктической литорали. Также были получены высевы содержимого задних отделов кишки самцов и самок *L. obtusata* (Баренцево море, Тромсе, Норвегия) на твердых питательных средах. Идентификация штаммов культивируемых колоний производилась аналогичным способом. С целью более детальной характеристики состава и variability микробиома были приготовлены 16S-рДНК-библиотеки из материала задних отделов кишки 5 видов подрода *Neritrema*, а также *L. littorea* и *Nucella lapillus*, собранных в двух точках на побережье Баренцева моря вблизи города Тромсе. В двух точках на побережье Северного моря вблизи биостанции кафедры морских наук Гетеборгского университета, Швеция, были отобраны образцы кишечника *L. fabalis*, трех морфотипов *L. saxatilis*, *L. littorea* и *Melarhaphes neritoides*, а также средовые образцы. Приготовленные библиотеки (3 биологические повторности для каждого образца сравнения, всего 120 библиотек) были просеквенированы с использованием технологии NGS на платформе Illumina MiSeq. Биоинформатический анализ включал формирование OTU с использованием алгоритма mothur MiSeq SOP. Последовательности, количество прочтений которых выявлялось на уровне таковых в негативном контроле, считались недостоверными.

Работа выполняется при поддержке грантов KVA-фонда Шведской королевской академии наук и РФФИ 19-04-00392-а, а также ресурсными центрами Научного парка СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Обсерватория экологической безопасности».

## Особенности смертности трехиглой колюшки *GASTEROSTEUS ACULEATUS* L. в Белом море в нерестовый период

Головин П. В.\*, Бахвалова А. Е., Смирнова К. А., Иванов М. В., Иванова Т. С., Лайус Д. Л.  
Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии  
\* e-mail: pasha-golovin@yandex.ru

### *Evaluation of mortality rate of the threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* L. in the White Sea during the spawning period*

*Golovin P. V., Bakhvalova A. E., Smirnova K. A., Ivanov M. V., Ivanova T. S., Lajus D. L.*  
Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology

Соотношение полов является важной биологической характеристикой, определяющей репродуктивный потенциал и долговременную динамику численности популяций (Геодакян, 2011; McKellar, Hendry, 2011). Среди рыб в области репродуктивной и поведенческой биологии немалое внимание привлекла трехиглая колюшка, широко распространенная в разнообразных водоемах Северного полушария (Wootton, 1982) и демонстрирующая сложное половое поведение (Tinbergen, 1952). Несмотря на хорошую изученность нерестового цикла колюшки в лаборатории (Bakker, Milinski, 1991; Pike et al., 2007; Tinghitella et al., 2013), очень мало известно об изменчивости соотношения полов этого вида на разных стадиях онтогенеза в природных условиях, и то, как это может влиять на структуру экосистемы (Gislason et al., 1998).

Начиная с конца прошлого столетия, численность морской популяции колюшки на Белом море сильно выросла (Лайус и др., 2013). Продолжительность нереста и заботы о потомстве колюшки ограничена летним периодом (Головин и др., 2017), и в это время колюшка активно участвуют и переносе веществ и энергии по трофическим цепям (Demchuk et al., 2015; Bakhvalova et al., 2016). Характерной особенностью популяции беломорской трехиглой колюшки является примерно двукратное преобладание самок. С целью выяснения причин явления мы рассмотрели такие источники повышенной смертности самцов, как избирательное воздействие хищников и самостоятельная гибель колюшки в нерестовый период.

Оценка численности колюшки (2012, 2015–2016 гг.) и отлов хищных видов рыб (2015–2016 гг.) осуществлялись на трех отличающихся по своим условиям нерестилищах Кандалакшского залива. Одно из местообитаний (лагуна Колюшковая) ввиду изолированности от моря и незначительных приливных явлений в 2016–2018 гг. было выбрано в качестве места регулярного сбора погибших производителей колюшки. Изучена динамика численности самцов и самок колюшки в ходе нереста. Полученные данные по численности позволяют утверждать, что к 10–25 июля основная масса производителей уже покидает нерестилища, причем самки отходят от берегов несколько раньше, чем самцы, которые продолжают заботиться о потомстве. Средняя смертность самцов за нерестовый период (0,44 %) достоверно превышает таковую для самок (0,27 %). При этом средняя общая доля погибших особей от максимальной численности колюшки для пика нереста (231 тыс. особей) составила всего около 0,3 %, что указывает на второстепенное значение этого фактора. Было также показано, что доля самцов колюшки в желудках трески (61 %) и керчаковых рыб (82 %) достоверно превышала таковую на нерестилищах (35 %). Количественно оценить селективное влияние хищников на соотношение полов в популяции колюшки пока не представляется возможным из-за отсутствия данных по численности хищников. Мы полагаем, что наиболее вероятной причиной сдвига соотношения полов у колюшки в пользу самок является независимая от хищников повышенная смертность самцов, проявляющаяся уже после отхода с нерестилищ (возможно, во время зимовки) в связи с высокими энергетическими тратами во время нерестового периода.

## Вертикальное распределение зоопланктона озера Могильное (по материалам комплексной экспедиции МГУ, СПбГУ и МАГУ в 2018 г.)

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

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии

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

### *Vertical distribution of zooplankton of the lake Mogilnoe (on materials of a complex expedition of MSU, Saint Petersburg State University and the Murmansk Arctic State University in 2018)*

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

Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology

Первые исследования озера Могильное, расположенного на о. Кильдин (Баренцево море), были проведены еще Н. М. Книповичем и К. М. Дерюгиным в конце XIX века. Интерес к этому реликтовому меромиктическому водоему не исчерпан и ныне: в июле 2007–2008 гг. здесь работала совместная экспедиция СПбГУ, ЗИН РАН (Санкт-Петербург), ММБИ, МГТУ (Мурманск), а в июле 2018 г. специалистами МГУ, СПбГУ и Мурманского Арктического государственного университета (МАГУ) начаты комплексные исследования, в ходе которых в 2018–2019 гг. планируется провести оценку сезонных изменений физико-химических характеристик и структурно-функциональных показателей его биоты.

Основой для настоящей работы послужили пробы зоопланктона, отобранные через каждый метр от поверхности до 8–9 м на центральной станции озера (координаты 69°19,137' с. ш., 34°20,983' в. д.) насосным методом путем фильтрации 50 л воды через сито ячеей около 100 мкм в августе и октябре 2018 г. Пробы зафиксированы и обработаны по стандартной методике.

Широко известные представления о меромиксии этого удивительного водоема, выражающиеся в неоднородности термогалинных характеристик, обычно транспонировались и на вертикальное «трехслойное» распределение его зоопланктона, который обычно характеризовался как ротаторно-клагоцерный на глубинах от 0 до 2–3 м, копеподно-нектохетный в среднем слое (от 3 до 8–9 м), при полном отсутствии ниже слоя «розовой» воды на глубинах свыше 8–9 м.

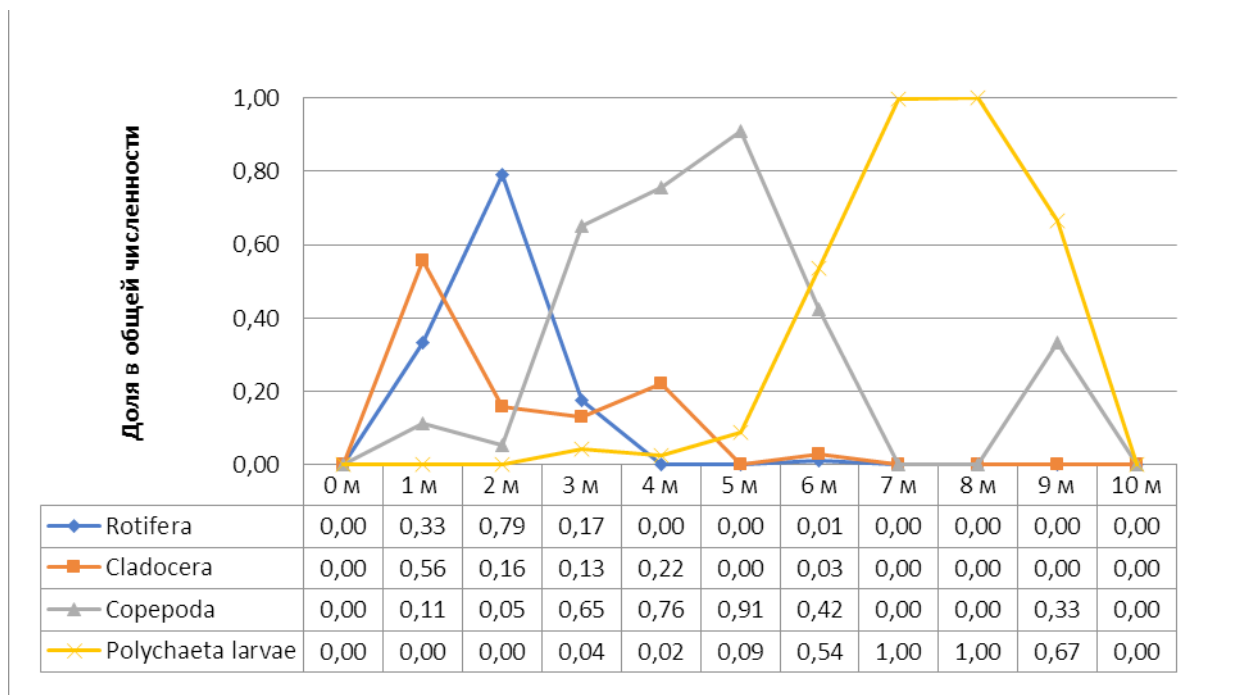


Рис. 1. Доля основных таксонов в общей численности зоопланктона оз. Могильное в слое 0–10 м в августе 2018 г. (насосный метод пробоотбора).

Насосный способ отбора проб, примененный нами в августе 2018 г. наряду с традиционной сетью Джели с замыкателем, позволил уточнить эти представления (Рис. 1). В среднем слое



воды, где зоопланктон наиболее обилен, основная масса копепод *Pseudocalanus acuspes* (взрослые, копеподитные и науплиальные стадии) сосредоточена на глубинах 3–5 м при численности до 16 тыс.экз./м<sup>3</sup>, а пелагические личинки полихет семейства Spionidae преобладали на глубинах 7–8 м, где достигали численности 179 тыс.экз./м<sup>3</sup>.

Величины обилия зоопланктона, полученные насосным способом, близки показателям сетных сборов — численность нектохет в среднем слое воды на трех станциях оз. Могильное изменялась в августе 2018 г. в пределах 80–200 тыс.экз./м<sup>3</sup>.

В октябре 2018 г. вертикальное распределение зоопланктона носило сходный характер — личинки спионид преобладали на глубинах 6–7 м, где достигали численности 177 тыс.экз./м<sup>3</sup>, а взрослые и ювенильные копеподы *Pseudocalanus acuspes* — на глубинах 4–5 м при численности 25–30 тыс.экз./м<sup>3</sup>.

Расхождение доминирующих форм зоопланктона по глубинам, возможно, связано с особенностями их питания и требует дальнейшего изучения.

*Работа выполнена при поддержке Русского географического общества, договор N13-218-Р.*

## Особенности питания мальков трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* (LINNAEUS, 1758) в разных биотопах Кандалакшского залива Белого моря

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

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

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория пресноводной и экспериментальной гидробиологии

\* e-mail: anndemch@gmail.com

### *Feeding patterns of threespine stickleback juveniles, Gasterosteus aculeatus (Linnaeus, 1758) in the different biotopes of the Kandalaksha Bay of the White Sea*

Demchuk A. S.<sup>1,2</sup>, Ivanov M. V.<sup>1</sup>, Ivanova T. S.<sup>1</sup>, Lajus D. L.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Freshwater and Experimental Hydrobiology

Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) в настоящее время самая многочисленная рыба Белого моря (Ivanova et al., 2016), находящаяся, по-видимому, вблизи исторического максимума численности (Лайус, 2013а, б). В связи с этим она играет важную роль в беломорской экосистеме. Понимание особенностей питания молоди особенно важно, поскольку на ранних стадиях жизни рыб условия питания определяют численность популяции. В Белом море колюшки мечут икру в мелководных районах, предпочитая заросли подводной растительности (Ivanova et al., 2016); там молодь живет в течение нескольких недель, прежде чем мигрировать в открытые части моря (Мухомедияров, 1966). Молодь колюшки в прибрежье может достигать численности до нескольких тысяч особей на м<sup>2</sup> (Rybkina et al., 2017), и ее влияние на прибрежные сообщества может оказаться очень значимым. Основной задачей данного исследования является анализ питания мальков трехиглой колюшки в разных биотопах Кандалакшского залива Белого моря.

Материал собирали в районе Учебно-научной базы «Беломорская» СПбГУ в Керетском архипелаге Кандалакшского залива Белого моря на семи станциях. Губы Сельдяная, Яковлева и Летняя — биотоп зарослей *Zostera marina* (Linnaeus, 1753); пролив Подпахта и акватория около о. Кругляш — заросли фукоидов; акватория около о. Кереть — прибойная каменистая литораль, практически лишенная растительности. Кроме этого, изучена лагуна Колюшковая, связанная с проливом Сухая Салма. Станции пробоотбора различались также в отношении солености и температуры воды. Пробы собирали и обрабатывали по методике, описанной ранее (Demchuk et al., 2015; Rybkina et al., 2016; Демчук и др., 2018).

Питание на большинстве станций характеризовалось высокой долей в пищевом коме планктонного рачка *Temora longicornis* (Müller O.F., 1785), доля (I %) в среднем от 25 до 70 %. Это подтверждает наши данные о том, что *T. longicornis* является одним из самых значимых компонентов питания молоди колюшки на Белом море (Demchuk et al., 2015). Исключением была лагуна Колюшковая, где основным компонентом спектра питания (суммарно I > 90 % массы всех обнаруженных организмов в желудках рыб) был доминирующий здесь планктонный рачок *Acartia longiremis* (Lilljeborg, 1853). Также следует отметить активное питание молоди колюшки планктонной кладоцерой *Podon leuckarti* (G. O. Sars, 1862), которая вблизи о. Кругляш составляла около 60 % спектра питания, а в проливе Подпахта — около 25 %. Кроме этого, было отмечено питание неполовозрелыми особями (*nauplii* и *copepoditii*) разных видов Copepoda.

Всего в желудках мальков был зарегистрирован 31 объект питания. В целом питание молоди колюшки можно охарактеризовать как планктонное, поскольку бентосные организмы (9 таксонов) не вносили существенного вклада в питание молоди колюшки.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ № 18-04-01052 А «Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* как связующее звено между сообществами открытого моря и прибрежья Белого моря», а так же гранта РФФИ № 18-34-00914 мол\_а «Соотношение полов у трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus* L.) Белого моря при адаптации к изменениям окружающей среды». Авторы выражают благодарность администрации УНБ СПбГУ «Беломорская» за возможность круглогодичной научной работы на Белом море.

## Половой диморфизм внешних морфологических признаков трехиглой колюшки

Доргам А. С.<sup>1,2\*</sup>, Иванова Т. С.<sup>1</sup>, Иванов М. В.<sup>1</sup>, Юрцева А. О.<sup>3</sup>, Лайус Д. Л.<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория ихтиологии

\* e-mail: dorgham22@hotmail.com

### *Sexual dimorphism of threespine stickleback in external morphological characters*

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

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

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

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

Трехиглая колюшка (*Gasterosteus aculeatus* L.) — массовая рыба морских, солоноватых и пресных вод северного полушария. Этот вид проявляет значительную пластичность в отношении морфологических признаков и особенностей жизненного цикла. Вследствие этого вид стал широко применяться в качестве модельного при изучении различных адаптаций. При исследовании экологии, поведения, и жизненного цикла вида, а также для сравнения морфологических особенностей популяций крайне важна информация о половом диморфизме. Цель данного исследования — изучение полового диморфизма внешних морфологических признаков у трехиглой колюшки Белого моря.

Материалом для изучения послужили 1442 особи вида, собранные в июне–июле 2018 г. на трех нерестилищах Керетского архипелага (Белое море). Через сутки после фиксации 10 % раствором формалина рыб сканировали при разрешении 1200–2400 dpi на сканере Epson Perfection Photo V600 в двух проекциях, затем определяли координаты 27 реперных точек в программе ImageJ, а в дальнейшем — расстояния между ними в программе Excel. Таким образом было получено 27 признаков, характеризующих форму тела и головы колюшки, и степень развития защитного аппарата (брюшных и спинных колючек). Статистическая обработка проведена в программе Statistica 10.

В ходе анализа были выделены три главные компоненты (ГК1–ГК3), объясняющие 81,1 % общей изменчивости признаков. ГК1 интерпретирована как показатель общего размера рыб, поскольку максимальные нагрузки на нее имели признаки, характеризующие, в первую очередь, размер рыб (SL, антеанальное и антедорсальное расстояния, высота тела, длина грудного плавника и др.). Самки были крупнее самцов. ГК2 интерпретирована как показатель формы структур передней части тела; максимальные нагрузки на нее были отмечены у таких признаков, как длина рыла и головы, антедорсальное, антепектральное и антевентральное расстояния, высота тела и др. ГК3 характеризовала форму защитных структур, таких как длина спинных и брюшных колючек. Использование ANOVA показало значимые различия между полами по этим трем факторам.

Сравнение морфологических индексов (т. е. значений признаков, деленных на стандартную длину тела) показало, что самки из всех трех точек сбора проб, в среднем, имеют меньшую длину и высоту головы, длину рыла и размер рта, антедорсальное, антевентральное и антеанальное расстояния. Также самки значительно уступают самцам по степени развития защитных морфологических структур (длине спинных и брюшных колючек). Полученные результаты, в целом, согласуются с результатами исследований, проведенных ранее на колюшке из других частей ареала.

## Особенности мускулатуры планул *AURELIA AURITA* и *CYANEA CAPILLATA* (CNIDARIA: SCYPHOZOA)

Зайнуллина Б. Р.\*, Хабибулина В. Р.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных

\* e-mail: zhanet2704@yandex.ru

### *Musculature features of planula of Aurelia aurita and Cyanea capillata (Cnidaria: Scyphozoa)*

*Zainullina B., Khabibulina V.*

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology

Особенности строения мускулатуры различных представителей Cnidaria у полипоидных и у медузоидных стадий жизненного цикла описаны еще в классических работах. Однако до сих пор мало внимания уделялось личиночным стадиям, в частности, планулам. Планулы представляют особый интерес в контексте того, насколько рано в онтогенезе квидарий начинают дифференцироваться первые мышечные элементы. Для того, чтобы прояснить этот вопрос в отношении представителей группы Scyphozoa, мы исследовали мускулатуру планул *Aurelia aurita* и *Cyanea capillata* с помощью окраски фаллоидином.

В Белом море обитают два вида сцифоидных медуз: *Aurelia aurita* (семейство Ulmaridae) и *Cyanea capillata* (семейство Cyaneidae). Личинки формируются и «вынашиваются» в ротовых лопастях материнского организма, затем выходят в толщу воды и вскоре оседают на подходящий субстрат. В качестве объекта исследования нами были выбраны свободноплавающие планулы, только что покинувшие ротовые лопасти медуз. И у *A. aurita*, и у *C. capillata* мы наблюдали тонкие продольные эктодермальные мышечные волокна, которые проходили вдоль границы между эктодермой и энтодермой от переднего к заднему концу тела планулы. По-видимому, эти волокна впоследствии принимают участие в формировании продольной мускулатуры будущего полипа. Проследить отдельные фибриллы, а также выявить поперечные мышечные элементы не удалось. Подобная мускулатура обеспечивает незначительные сокращения тела, что подтверждается визуальными наблюдениями.

Таким образом, у *A. aurita* и *C. capillata* слабо выраженная мышечная система дифференцируется уже на стадии личинки. Мускулатура не принимает существенного участия в обеспечении локомоции и представлена отдельными мышечными волокнами. Вероятно, эти мышечные элементы могут играть роль в процессах оседания и метаморфоза.

Работа выполнена с использованием оборудования РЦ СПбГУ «Культивирование микроорганизмов», «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Хромас».

**Экстенсивность инвазии популяций литоральных гастропод *PERINGIA ULVAE* (PENNANT 1777) трематодами птиц на небольшом заповедном острове в Кандалакшском заливе (Белое море)**

Зенков Е. А.<sup>1\*</sup>, Аристов Д. А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии)

<sup>2</sup>Зоологический институт РАН

\* e-mail: julzenkov@gmail.com

***Prevalence of parasitic-in-birds trematod invasion of intertidal gastropods *Peringia ulvae* (Pennant 1777) at the small island of Kandalaksha Bay (the White Sea)***

Zenkov E.<sup>1</sup>, Aristov D.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Zoological Institute of RAS

Поликсенные паразиты представляют собой связующее звено между видами-хозяевами в сообществах. На литорали Белого моря первым промежуточными хозяевами трематод могут являться массовые брюхоногие моллюски — *Peringia ulvae*. Как правило, они заражаются трематодами пассивно, поедая фекалии окончательных хозяев, контаминированные яйцами паразитов, поэтому вероятность заражения гастропод будет определяться обилием экскрементов на литорали. Для большинства паразитов этих моллюсков окончательными хозяевами являются различные птицы. Таким образом, количество птиц может влиять на степень зараженности улиток. Целью данного исследования стало сравнить экстенсивность инвазии гастропод *P. ulvae* (Hydrobiidae) в местообитаниях, посещаемых птицами с разной частотой. Для оценки заражения был выбран заповедный остров Девичья луда (Кандалакшский залив, Белое море). Западная сторона острова менее открыта по отношению к морю и часто посещается птицами, в отличие от восточной. Всего было обследовано шесть локаций (по три с каждой стороны острова), из каждой была взяты пробы с нижнего и верхнего горизонтов литорали. Все особи *P. ulvae* с высотой раковины более 1,7 мм из проб фиксировались 4 % раствором формалина, измерялись по двум параметрам — высоте раковины и ширине последнего завитка, затем вскрывались и проверялись на наличие церкарий и партенит трематод. Из проб с большим количеством улиток случайно отбиралось по сто особей. Для выявления зависимости вероятности заражения от исследуемых факторов была построена логистическая регрессионная модель. Были обнаружены партениты четырех семейств трематод — Microphallidae, Echinostomatidae, Notocotylidae, и Heterophyidae (в порядке убывания частоты встречаемости). Общая экстенсивность инвазии на Луде составляет 14,7 %, что значительно превышает таковую на других заповедных островах, исследованных нами ранее. Вероятность заражения выше на западной стороне острова, которую мы считаем чаще посещаемой птицами. Кроме того, шансы заразиться выше у улиток с верхнего горизонта литорали. Также вероятность заражения возрастает с увеличением высоты раковины. Высокую степень зараженности улиток на острове можно связать с частой посещаемостью его птицами как места кормежки и гнездования. Большая высота у зараженных моллюсков может быть связана с кастрацией их паразитами, поскольку в таком случае энергия гастропод не затрачивается на производство половых продуктов, и они растут интенсивнее.

Авторы благодарят администрацию Кандалакшского государственного заповедника за предоставление возможности работы на заповедных территориях, М. В. Бессонову за первичный сбор материала, а также к. б. н. В. М. Хайтова за помощь в математической обработке.

## Беломорско-арктический бычок *ICELUS VICORNIS* (COTTIDAE) и его отличия от *ICELUS SPATULA*

Зорина А. А.\*

Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины

\* e-mail: zorana97@mail.ru

### *Difference between the White Sea-Arctic Twohorn sculpin (Icelus bicornis) and the Spatulate sculpin (Icelus spatula)*

Zorina A.

Saint Petersburg State Academy of Veterinary Medicine

Работа посвящена сравнительному изучению двух видов бычковых рыб — представителей семейства рогатковых, или керчаковых (Cottidae). Атлантический двурогий ицел (*Icelus bicornis*) обитает в Белом море и арктических морях; восточный двурогий ицел (*I. spatula*) распространен в значительной мере в тех же районах. Диагностические признаки, которые позволили бы надежно различать все возрастные группы особей этих видов, не разработаны. В нашу задачу входило сравнительное изучение самцов, самок и молоди двух видов с целью установления признаков, пригодных для видового определения.

Исследования проводились на базе лаборатории ихтиологии Зоологического института РАН (ЗИН РАН) в августе–сентябре 2018 года. Материалом для изучения стали рыбы, полученные в ходе экспедиции в северные моря (2014 г.). Экземпляры этих мелких донных видов достаточно редки в траловых ловах, поэтому несомненной удачей было обнаружение в сборах из одного района полных серий разноразмерных особей обоих видов — *I. spatula* (n = 17) и *I. bicornis* (n = 19).

Сравнение двух видов проводили по меристическим (7) и пластическим (19) признакам.

В докладе приводятся результаты морфометрического анализа. Показано, что особей двух видов обоих полов на всех стадиях развития достоверно можно различить по таким признакам, как протяженность боковой линии (полная у *I. spatula*, неполная у *I. bicornis*), количество щитков в боковой линии (39–44 у *I. spatula*, 32–39 у *I. bicornis*), наличие чешуек на хвостовом стебле (имеются только у *I. bicornis*), высота затылочных шипов (в среднем 34,29–38,61 % относительно диаметра глаза *I. spatula*, в среднем 26,28–34,53 % — *I. bicornis*), пятнистость (мелкая у *I. spatula*, крупная у *I. bicornis*).

Самцы двух видов наиболее надежно различаются по форме уrogenитальной папиллы (у *I. spatula* на ее конце имеется короткий когтевидный придаток, а у *I. bicornis* — придаток длинный, шиловидной формы).

Приводятся также данные по вариабельности морфометрических признаков, что позволяет оценить внутривидовую изменчивость этих двух малоизученных видов, входящих в состав холодолюбивой фауны арктического региона.

## **DE NOVO сборка генома ортонектиды *INTOSHIA VARIABILIS***

Зорина Н. А. \*, Бондаренко Н. И., Слюсарев Г. С.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных

\* e-mail: natalytack@yandex.ru

### ***De novo assembly of the genome of Intoshia variabilis***

Zorina N., Bondarenko N., Slyusarev G.

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology

Ортонектиды (Orthonectida) — группа организмов, являющихся паразитами морских беспозвоночных животных. Долгое время положение Orthonectida в системе Metazoa оставалось неясным. Однако в настоящее время считается, что ортонектиды — это утратившие большинство характерных черт кольчатые черви (Annelida). Таким образом, особый интерес представляет изучение геномов этих организмов.

Данная работа посвящена изучению генома половозрелых особей ортонектиды *Intoshia variabilis*. Для анализа использовались 4 библиотеки парноконцевых ридов, полученных на платформе Illumina HiSeq 2500. Приблизительная оценка покрытия и размера генома до выполнения сборки осуществлялись с помощью программы KrATeR. Оценка качества библиотек проводилась при помощи FastQC. Дальнейшая обработка ридов и устранение различного рода ошибок осуществлялись с помощью набора программ BBTools. Для *de novo* сборки генома *Intoshia variabilis* использовался ассемблер SPAdes, основанный на построении графа де Брейна. Оценка качества сборки была проведена с помощью программы Quast, которая рассчитывает ряд важных статистических параметров.

В результате была получена сборка генома *Intoshia variabilis* размером 15,5 Mb (N50 = 151936). На данный момент этот геном является самым маленьким среди всех известных геномов Metazoa. Такое сильное уменьшение размера генома в пределах типа Annelida может быть связано с паразитическим образом жизни организмов. На основе собранного генома будет проведена аннотация и поиск генов, которые можно считать необходимым минимумом для существования спирального животного.

## Морфологические и экологические особенности видов красных водорослей *Coccotylus brodiei* и *C. truncatus* Белого моря

Иванов С. Д.\*

Ботанический институт имени В. Л. Комарова РАН, лаборатория альгологии

\* e-mail: stepan.ivanov.97@mail.ru

### *Morphological and ecological features of the species of red algae *Coccotylus brodiei* and *C. truncatus* of the White Sea*

*Ivanov S. D.*

Botanical Institute V. L. Komarova RAS, Laboratory of Algae

Флора Белого моря включает два вида рода *Phyllophora*, а именно *P. brodiei* и *P. Interrupta* (Гоби, 1878; Зинова, 1929; Зинова, 1955; Mikhaylova, 2017). После опубликования наблюдений А. Зиновой (1970) научная общественность приняла объединение этих видов в один под комбинацией *P. truncata*, и впоследствии, согласно правилу приоритета, этот таксон был переименован в *Coccotylus truncatus* (Wynne, 1992). Сравнительно недавно проведенные молекулярные исследования показали генетические различия между этими видами (Le Gall & Saunders, 2010), в результате чего статус обоих видов был восстановлен под названиями *Coccotylus brodiei* и *C. truncatus*.

Современные наши и литературные данные (Lundsteen & Nielsen, 2015) подтверждают наличие четких межвидовых отличий. Обработка беломорской коллекции видов *Phyllophora* и *Coccotylus* (40 образцов, из которых: *P. brodiei* — 23, *P. interrupta* — 15, *C. truncatus* — 2) в Гербарии водорослей БИН РАН (LE) показывает, что вид *C. brodiei* имеет отчетливый, довольно длинный, разветвленный стволик и удлинённые заостренные пластины, в то время как *C. truncatus* характеризуется небольшим стволиком, резким переходом от стволика к пластине и закругленным краем большинства пластин.

Кроме того, сборы 2018 года в Белом море (180 образцов, из которых: *C. brodiei* — 108, *C. truncatus* — 72) показывают, что вид *C. brodiei* встречается как в литоральной (в нижнем горизонте), так и в сублиторальной зонах, при этом он редко заходит глубже 7–9 м. В основном, это типичный представитель ассоциаций фукусовых и ламинариевых. Другой вид *C. truncatus* является характерным представителем преимущественно пояса красных водорослей, он произрастает в диапазоне глубин от 7–9 до 14–15 м. Эти данные подтверждаются коллекциями Шошиной (1977).

В то же время, по нашим наблюдениям, в зоне экологического перекрытия эти виды довольно трудно различимы. Найденные нами образцы можно отнести к переходным формам. Мы полагаем, что молекулярно-генетические исследования позволят идентифицировать их более точно.



## Особенности строения полости интерны корнеголовых раков на примере представителей сем. PELTOGASTRIDAE (RHIZOCERHALA: PELTOGASTRIDAE)

Илюткин С. А.<sup>1\*</sup>, Миролюбов А. А.<sup>2</sup>, Лянгузова А. Д.<sup>1</sup>, Лапшин Н. Е.<sup>1</sup>, Борисенко И. Е.<sup>3</sup>, Нестеренко М. А.<sup>1</sup>, Добровольский А. А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН

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

\* e-mail: stanislav.gao@gmail.com

### *Morphology of body cavity in interna of rhizocephalan barnacles from family Peltogastridae (Rhizocephala: Peltogastridae)*

Ilyutkin S. A.<sup>1</sup>, Miroljubov A. A.<sup>2</sup>, Lianguzova A. D.<sup>1</sup>, Lapshin N. E.<sup>1</sup>, Borisenko I. E.<sup>3</sup>, Nesterenko M. A.<sup>1</sup>, Dobrovolskij A. A.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS

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

Представители группы Rhizocephala являются крайне специализированными паразитами широкого круга хозяев среди других ракообразных. Корнеголовые ракообразные оказывают значительное влияние на своего хозяина — они изменяют морфологию, физиологию и поведение своих хозяев настолько, что хозяева превращаются в автоматические машины по обслуживанию паразита. В результате длительной совместной эволюции взрослые представители группы утратили всякое сходство с типичными ракообразными, демонстрируя значительные изменения морфологии, которые являются адаптациями к паразитическому образу жизни. Тело взрослой самки состоит из двух частей: экстерны — мешковидного органа, содержащего гонады; и интерны — трофического органа паразита, который представляет из себя систему ветвящихся столонов, пронизывающих тело хозяина.

В проведенных нами исследованиях рассматривались представители семейства Peltogastridae. В строении интерны особый интерес представляют «бесцветные фолликулы» — вздутия, которые обнаруживаются на концах некоторых периферических столонов и характеризуются тем, что, в отличие от зеленой интерны, не имеют окраски. Высказываются предположения о том, что данные образования являются зонами роста. На гистологических срезах нами были обнаружены участки интерны, в которых были видны плотно упакованные клетки с ядрами, отличающимися от обычных ядер в других клетках. Однако не имеется какой-либо достоверной информации относительно их ультраструктуры.

В центральной части столона располагается заполненная жидкостью полость — центральный канал. Он начинает свое формирование на стадии вермигона, когда паразит представлен всего лишь несколькими клетками, но механизмы ее формирования и природа происхождения остаются загадкой. Канал не ограничен от поверхности аксиальных клеток внеклеточным матриксом и не имеет клеточной выстилки. Однако в результате наших исследований был обнаружен тот факт, что в некоторых участках столона наблюдается наличие клеточной выстилки полости центрального канала. Ультраструктура клеток выстилки остается загадкой, как и функции, которые они могли бы выполнять.

Кроме того, у некоторых представителей корнеголовых в просвете центрального канала обнаруживаются клетки с высоким ядерно-цитоплазматическим соотношением и высокой активностью щелочной фосфатазы. По этим признакам они ранее относились к стволовым клеткам, нами же было обнаружено перинуклеарное тело, что указывает на принадлежность клеток к первично-половым. Они часто обнаруживаются рядом с местом образования новых почек экстерн и в составе самих почек. Но более подробной информации и ультраструктурных данных о «флотирующих» в центральном столоне клетках не имеется.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ мол\_а №18-34-00727\18.

## Бактериофаги как часть симбиотической системы хейлостомной мшанки *SCRUPOCELLARIA SINUOSA* и ее бактериальных симбионтов

Карагодина Н. П.<sup>1\*</sup>, Вишняков А. Э.<sup>1</sup>, Островский А. Н.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Университет Вены, кафедра палеонтологии

\* e-mail: kara.karagodina@yandex.ru

### *Bacteriophages as part of the symbiotic system of bryozoan *Scrupocellaria sinuosa* (Cheilostomata) and its bacterial symbionts*

Karagodina N. P.<sup>1</sup>, Vishnyakov A. E.<sup>1</sup>, Ostrovsky A. N.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> University of Vienna, Department of Paleontology

Исследование симбиотических взаимоотношений бактерий с мшанками началось еще в середине прошлого века, однако особенности ультраструктуры бактериальных клеток и детали их взаимодействия с тканями хозяина были освещены недостаточно. Присутствие в такой симбиотической системе бактериофагов до сих пор не было обнаружено.

При помощи трансмиссионной электронной микроскопии нами была исследована ультраструктура тканей хейлостомной мшанки *Scrupocellaria sinuosa* и ее бактериальных симбионтов, зараженных бактериофагами. Бактерии были найдены в полости зооидов в фуникулярных телах — расширениях мезотелиальных тяжей. Эти тяжи выполняют транспортную функцию внутри и между зооидами. Тонкое строение фуникулярных тел с бактериями было описано и для другого близкородственного вида мшанок (*Aquiloniella scabra*). План организации фуникулярных тел у этих двух видов имеет ряд сходных черт: бактерии окружены клетками с активным ядром и развитым синтетическим аппаратом. Клетки образуют цитоплазматические выросты, входящие в пространства между бактериями. Снаружи они окружены уплощенными клетками с электронно-светлой цитоплазмой, которые продолжают в фуникулярные тяжи.

В цитоплазме симбиотических бактерий мшанки *Scrupocellaria sinuosa* были обнаружены вирусные частицы. Для данных вирусов характерно сложное строение капсида, а также наличие оболочки. Количество бактериофагов различалось в бактериальных клетках из разных фуникулярных тел. Были найдены интактные бактериальные клетки, клетки с вирионами в цитоплазме, а также бактерии с разрушенными клеточными стенками, содержащие вирионы. Различия могут быть связаны с асинхронностью протекания литического цикла в бактериях из разных фуникулярных тел.

Исследование проводилось при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 16-04-00243-а) и Российского научного фонда (грант № 18-14-00086).

# Геологическое строение четвертичных отложений пролива Великая Салма (Белое море) на основе сейсмоакустического профилирования

Киньябаева Э. Р.\*, Токарев В. А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра геофизики

\* e-mail: elvira.kinyabaeva@yandex.ru

## *The geological structure of the Quaternary sediments of the Great Salma's strait (White Sea) based on seismic acoustic profiling*

*Kinyabaeva E. R., Tokarev V. A.*

Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Geophysics

Работа посвящена изучению геологического строения акватории пролива Великая Салма (Кандалакшский залив Белого моря), прилегающего к Беломорской биологической станции МГУ, по сейсмоакустическим данным. Этим вопросом занимаются уже давно (Девдариани и др., 1976); в этой и последующих работах на большей части акватории Белого моря были изучены кровля архейского фундамента, комплекс четвертичных отложений и рельеф дна (Старовойтов и др., 2018). Целью настоящего исследования является уточнение строения четвертичных отложений на основе новых (2018 год) сейсмоакустических данных, в частности, расчленение четвертичных отложений и выявление по особенностям волнового поля различий между ледниковыми и гравитационными отложениями.

Полевые работы были выполнены с использованием акустического электроискрового источника «SplitMultiSeis» (центральная частота — 600 Гц, интервал возбуждения — 1 с) и многоканальной косы, состоящей из 16 приемников, расстояние между которыми — 2 м.

Основные параметры 2D съемки отображены на рисунке 1.

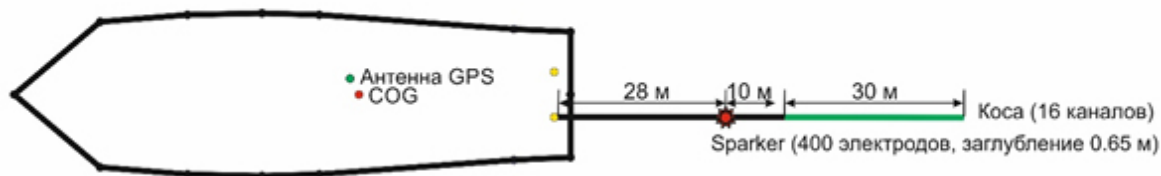


Рисунок 1. Схема выполнения 2D сейсморазведки в Кандалакшском заливе.

Всего было отработано 10 профилей общей протяженностью 25 км. Обработка полученных данных производилась в системе «RadExPro», последующая интерпретация — в программном комплексе «Kingdom».

В результате интерпретации полученных данных на сейсмоакустических разрезах было выделено три сейсмокомплекса на основании различия в волновых картинах (Рис. 2).

Сейсмокомплекс 1 (СК1) представлен современными морскими осадками. Он характеризуется тонкослоистой, практически акустически прозрачной волновой картиной. На некоторых разрезах осадочную толщу можно расчленить на верхний и нижний подкомплексы по интенсивному отражающему горизонту. В основании СК1 наблюдается облежание неровностей поверхности кровли подстилающего комплекса.

Сейсмокомплекс 2 (СК2) представлен моренными отложениями и имеет разнообразную волновую картину — от хаотической до слоистой.

Сейсмокомплекс 3 (СК3) располагается в основании разреза, представлен архейскими гнейсами и является геологическим фундаментом. Комплекс характеризуется хаотической волновой картиной или отсутствием осей синфазности отраженных волн. Кровля СК3 была выделена по резкой смене волновой картины. Кровля имеет неровную поверхность и осложнена разрывными нарушениями, которые отмечаются по следующим признакам: разрывы и смещения осей синфазности, резкое изменение волновой картины (Рис. 3).

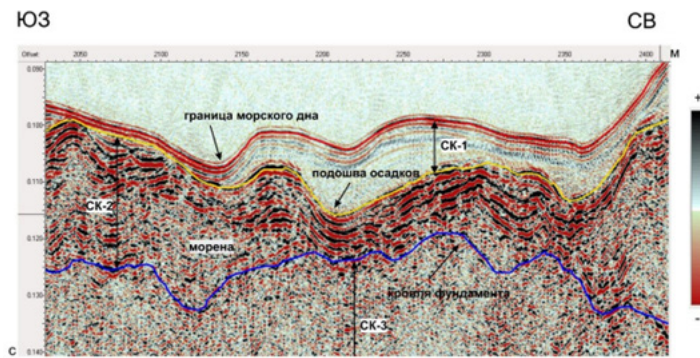


Рисунок 2. Фрагмент сейсмоакустического разреза с выделенными сейсмическими комплексами

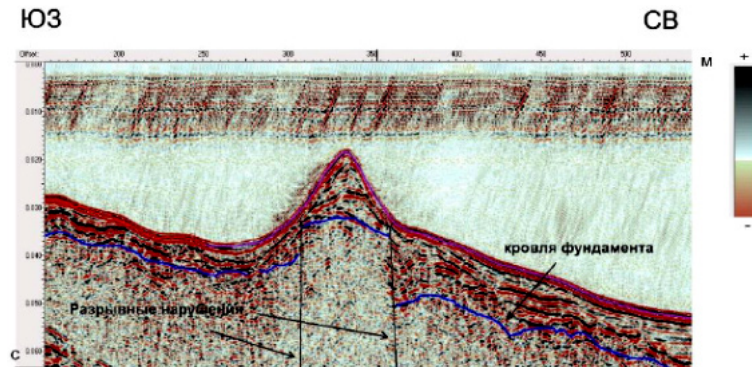


Рисунок 3. Фрагмент сейсмоакустического разреза с характерной волновой картиной и разрывными нарушениями по фундаменту

В настоящее время выполняется более углубленная интерпретация данных.  
 Проект выполняется при поддержке ООО «ЦКМИ СПбГУ».

## Морфогенетическая роль $\beta$ -катенина у *ALITTA VIRENS* (SPIRALIA, ANNELIDA)

Козин В. В. \*, Борисенко И. Е., Костюченко Р. П.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра эмбриологии

\* e-mail: vitaly.kozin@mail.ru

### *The morphogenetic role of $\beta$ -catenin in Alitta virens (Spiralia, Annelida)*

Kozin V. V., Borisenko I. E., Kostyuchenko R. P.

Saint Petersburg State University, Department of Embryology

Консервативный мультидоменный белок  $\beta$ -катенин присущ всем многоклеточным животным и выполняет целый ряд жизненно важных функций. Будучи структурным элементом адгезионных межклеточных контактов,  $\beta$ -катенин является связующим звеном между кадгеринами и актиновым цитоскелетом. В процессах развития наиболее значительная роль этого белка состоит в регуляции транскрипции генов-мишеней Wnt-сигналинга. Интересно, что у многих организмов именно  $\beta$ -катенин определяет первичную анимально-вегетативную полярность зародыша, а также судьбу мезодермальных и энтодермальных бластомеров. Гораздо более многообразны и уникальны морфогенетические события с участием  $\beta$ -катенина, происходящие в постгастрюляционный период развития. У первичноротых животных со спиральным дроблением, причисляемых к кладе Spiralia, роль  $\beta$ -катенина остается малопонятной. Загадкой является как наличие цитоплазматического или ядерного пула этого белка, так и механизмы его регуляции. Для всестороннего изучения  $\beta$ -катенина у беломорской полихеты *Alitta virens* были использованы методы иммуоцитохимии, вестерн-блоттинга и биоинформатики.

По результатам анализа длинных прочтений геномной ДНК и шотган-секвенирования РНК у *A. virens* обнаружен единственный ген  $\beta$ -катенина, кодирующий белок из 833 а. к. В этой последовательности выявлены все типичные консервативные мотивы, включая 12 повторов Arm (Armadillo/ $\beta$ -catenin-like repeat). Различные формы белка на тотальных объектах определяли с помощью четырех видов антител. Экспрессия  $\beta$ -катенина на уровне белка была обнаружена на протяжении всех стадий эмбриогенеза. Во время раннего дробления сигнал иммунореактивности выявлялся в свободной от желтка анимальной цитоплазме, кортексе бластомеров и особенно интенсивно в местах их соприкосновения. Во время четвертого клеточного цикла была обнаружена значительная гетерогенность окраски в цитоплазме всех микро- и макромеров. Яркие компактные домены локализовались в анимальной стороне от метафазной пластинки. С момента разделения основных клеточных линий (7-й цикл дробления) компактный цитоплазматический сигнал антител был приурочен преимущественно к клеткам вегетативной и дорсальной стороны. Особенно примечателен характер распределения в делящихся соматобластах 2d и 4d. Ранние деления первого соматобласта связаны с асимметричной закладкой митотического веретена и вероятно связанного с ним  $\beta$ -катенина. Во время равномерного деления второго соматобласта происходит билатеральное распределение областей повышенной концентрации белка на стадиях от метафазы до телофазы. Присутствие интенсивного ядерного сигнала немодифицированной и фосфорилированной по тирозину (pY489 и pY654) формы  $\beta$ -катенина ни одними из четырех антител подтвердить не удалось. Во время гастрюляции  $\beta$ -катенин преимущественно локализуется в дорсальных клетках D-квадранта и в кортексе макромеров по контуру их соприкосновения. У протрохофор наибольшей интенсивности окраска достигает вокруг ядра макромера D-квадранта, лежащего на заднем полюсе.

Таким образом, нами впервые получены сведения о дифференциальном распределении  $\beta$ -катенина в цитоплазме зародышей Spiralia. Вероятно, данный паттерн отражает участие белка в ориентации клеточных делений и индивидуальной спецификации сестринских бластомеров.

Работа выполнена на базе МБС СПбГУ (Учебно-научная база «Беломорская»), РЦ ММ и РЦ ВЦ СПбГУ при поддержке гранта РФФИ (17-14-01089).

## Регенерация беломорской губки *HALICHONDRIA SITIENS* (DEMOSPONGIAE)

Койнова А. С.<sup>1\*</sup>, Вишняков А. Э.<sup>1</sup>, Лавров А. И.<sup>2</sup>, Ересковский А. В.<sup>3,4</sup>

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

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Биологический факультет, Беломорская биологическая станция им. Н. А. Перцова

<sup>3</sup> Средиземноморский институт биоразнообразия и морской и континентальной экологии, Марсельский университет, CNRS, IRD, Авиньонский университет

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра эмбриологии

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

### *Regeneration of White sea sponge Halichondria sitiens (Demospongiae)*

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

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

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

<sup>3</sup> Mediterranean Institute of marine and terrestrial Biodiversity and Ecology, Aix Marseille University, CNRS, IRD, Avignon Université

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

Общеизвестным является тот факт, что губки обладают ярко выраженной способностью к восстановлению утраченных частей тела и заживлению раны после повреждений различного рода. Однако на сегодняшний день детальное описание процесса регенерации с использованием современных методов исследования дано лишь для нескольких представителей типа Porifera. Восстановительная регенерация была подробно описана для *Halisarca dujardini* (класс Demospongiae), *Oscarella lobularis* (класс Homoscleromorpha), *Leucosolenia variabilis* (класс Calcareae) (Borisenko et al., 2015; Ereskovsky et. al., 2015; Lavrov et al., 2018). Механизмы регенерации всех трех видов имеют свои особенности. Нами было проведено исследование репаративной регенерации папилл представителя класса Demospongiae — *Halichondria sitiens* методами световой и трансмиссионной электронной микроскопии.

Заживление раны сопровождается закруглением ее краев, сглаживанием раневой поверхности и уменьшением количества клеточного дебриса в области повреждения. Эти процессы осуществляются за счет разнообразных клеток мезохила, которые мигрируют в зону ампутации, где они синтезируют коллаген, а также фагоцитируют остатки поврежденных клеток в участке, локализованном ниже раневой поверхности. Восстановление экзопинакодермы папиллы идет за счет клеток бластемы — скопления недифференцированных клеток, формирующегося под раневой поверхностью. На стадии сформированной бластемы начинается эпителизация раневой поверхности путем дифференцировки археоцитов в новые экзопинакоциты. Схожий механизм регенерации наблюдается у еще одного представителя класса Demospongiae — *Halisarca dujardini*. В эпителизации раневой поверхности данной губки так же, как и у *Halichondria sitiens*, участвуют археоциты, входящие в состав бластемы.

## Определение индивидуального вклада самок трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* в формирование кладки путем анализа стадий развития эмбрионов

Кондакова Е. А.<sup>1\*</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 эмбриологии

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

\* e-mail: katekondakova1989@gmail.com

### *The determination of individual contribution of females of threespined stickleback *Gasterosteus aculeatus* into the batch by the analysis of developmental stages of embryos*

*Kondakova E.<sup>1</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 Embryology

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

Численность наиболее массового вида рыб Белого моря — трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus*, по-видимому, ограничена площадью удобных нерестилищ, где плотность производителей достигает 100 особей на кв. м, что выше, чем в других водоемах. В связи с этим особый интерес представляет репродуктивное поведение этого вида. Целью настоящего исследования была оценка индивидуального вклада самок трехиглой колюшки Белого моря в кладку икры, находящуюся в гнезде под охраной самца, в частности, определение числа самок, участвующих в формировании кладки и определение временного интервала, с которым происходит откладка икры каждой из них.

Гнезда колюшки были собраны в июне 2017 и 2018 гг. в губе Сельдяная в районе Учебно-научной станции «Беломорская» СПбГУ и зафиксированы в 4 % формалине. Было проанализировано 13 собранных гнезд. Всю кладку разделяли на отдельные икринки, перемешивали, после чего случайным образом отбирали не менее 100 икринок, у которых определяли стадии нормального развития икры в соответствии с таблицами Сварупа (Swarup, 1958), разработанными для температуры 18–19 °С, в которых описана 31 стадия развития и рассчитано, сколько часов прошло после оплодотворения. Поскольку в нашем случае температура в море в период сбора проб составляла 12–15 °С, развитие шло медленнее.

Число икринок в кладке составляло в среднем 884 шт. и варьировало от 334 до 1542 шт. В большинстве случаев в кладке можно различить 2–3 генерации эмбрионов, отличающихся стадией развития; в двух кладках эмбрионы находятся на одной стадии, в двух — на четырех разных стадиях развития, и в одной — на пяти. Обычно в пробах присутствуют зародыши недалеко отстоящих друг от друга стадий, что говорит о том, что нерест разных самок в одно и то же гнездо происходит с короткими временными промежутками. Например, в одной из кладок находились зародыши на стадии 18 (70 часов после оплодотворения (чпо) при температуре 18–19 °С), стадии 19 (88 чпо) и зародыши с пигментированными глазами (стадия 20, 106 чпо). Таким образом, между оплодотворением яиц, находившихся к моменту фиксации на стадиях 18–19, прошло не менее 18 часов, между оплодотворением самой ранней и самой поздней частей кладки — не менее 36 часов. Самая ранняя стадия, которую мы наблюдали — 6 (8 бластомеров), самая поздняя — 21 (пигментация глаз и тела). Отличия по цвету желтка в пределах каждой пробы не выявлены. Также в пробах отмечены мертвые (побелевшие) и, предположительно, неоплодотворенные икринки, их среднее число было 5,4 шт. Среднее количество икринок в генерации составляет 306 шт, что почти в два раза превышает среднюю плодовитость одной самки. Таким образом, проведенный анализ позволяет различать в кладках трехиглой колюшки эмбрионов на разных стадиях развития, и оценить интервалы, с которыми откладывают икру разные самки.

## Определение возраста и изучение роста *ARCTICA ISLANDICA* (BIVALVIA: VENEROIDA) сублиторали о. Большой Горелый (губа Чупа, Белое море)

Кремкова С. А.<sup>1\*</sup>, Беспятых А. В.<sup>1</sup>, Евтюгин В. Г.<sup>1,2</sup>

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

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

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

### A study of growth and age determining of *Arctica islandica* (Bivalvia: Veneroida) from the sublittoral zone of Bolshoi Gorely Isl. (Chupa Bay, White Sea)

Kremkova S.<sup>1</sup>, Bespyatykh A.<sup>1</sup>, Evtugyn V.<sup>1,2</sup>

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

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

Одним из лидеров по продолжительности жизни среди животных считается двустворчатый моллюск Арктическая циприна — *Arctica islandica* (Linnaeus, 1767). В работах ряда авторов начала 2000-х годов возраст этих моллюсков из акватории Норвежского моря оценивается в 190–400 лет. (Strahl et al., 2008; Ridgway et al., 2010, Scone et al., 2005). При этом возраст моллюсков из Белого моря исследователи оценивают максимум в 48 лет (Кузнецов, 1960; Герасимова, 2018).

Наиболее точной методикой определения возраста представляется подсчет регистрирующих колец во внутренних слоях раковины. Зарубежные авторы интерпретируют каждое из видимых колец как годовичное (Thompson, Jones, 1980), в то время как отечественные исследователи в качестве годовичных колец указывают лишь наиболее контрастные кольца (Максимович и др., 2008; Герасимова, 2018). В настоящем исследовании использованы оба подхода и сопоставлены полученные результаты оценки возраста *A. islandica* при подсчете всех видимых колец и лишь наиболее контрастных «стрессовых» меток.

Изучены 105 экземпляров с семи точек сублиторали о. Большой Горелый с длиной раковины от 0,85 до 57 мм. Для оценки возраста использовались шлифы из зоны подмакушечных зубов каждой левой створки, полученные на шлифовально-полировальном станке EcoMet 250. Подсчет возрастных колец проводился при наблюдении образцов методом темного поля в отраженном свете и с использованием лазерного конфокального микроскопа.

В выборке преобладали экземпляры с размером раковин от 8 до 30 мм. Относительный рост раковины характеризовался линейными функциями, и с возрастом ее размеры изменялись пропорционально. При подсчете «стрессовых» меток максимальный возраст исследованных экземпляров составил 18 лет. При подсчете всех «регулярных» колец и интерпретации их как годовичных возраст самой взрослой особи составил 151 год.



**Переход от дискретного онтогенеза к непрерывному при сокращении путей циркуляции на примере трематод *Neophasis oculata* (Levinsen, 1881) Miller, 1941 и *Neophasis anarrhichae* (Nicoll, 1909) Bray, 1987 (Trematoda: Acanthocolpidae)**

Кремнев Г. А.\*, Крупенко Д. Ю., Шенков С. В., Гончар А. Г., Шишков А. Г.  
Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных  
\* e-mail: ekremnyov@yandex.ru

***Transition from discrete to continuous ontogenesis due to shortening of transmission pathways: the case of *Neophasis oculata* (Levinsen, 1881) Miller, 1941 and *Neophasis anarrhichae* (Nicoll, 1909) Bray, 1987 (Trematoda: Acanthocolpidae)***

Kremnev G., Krupenko D., Shchenkov S., Gonchar A., Shishkov A.  
Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology

В типичном триксенном жизненном цикле трематод развитие гермафродитного поколения осуществляется дискретно: периоды морфогенетической активности, протекающие в разных хозяевах, сменяются фазами покоя. Так реализуется жизненный цикл трематоды *Neophasis oculata*. Если же пути циркуляции сокращаются, то этапы развития, ранее приуроченные к разным хозяевам, начинают протекать в одном. В результате онтогенез приобретает непрерывный характер, например, у *Neophasis anarrhichae*. Церкарии этого вида остаются в зародышевой полости редий, где без инцистирования переходят к метацеркариогенезу. Поэтому провести четкую границу между сформированной церкарией и начавшей свое развитие метацеркарией *N. anarrhichae* затруднительно. Мы проследили гетерохронию в онтогенезе гермафродитного поколения *N. anarrhichae*, используя в качестве «точки отсчета» данные по морфологии формирующихся и сформированных церкарий *N. oculata*.

Гастроподы *Cryptonatica affinis* и *Buccinum undatum* (промежуточные хозяева *N. oculata* и *N. anarrhichae* соответственно) были собраны в июле 2018 года на Белом море, в окрестностях УНБ «Беломорская» СПбГУ. Паразиты были зафиксированы для последующего изучения с помощью стандартных иммуногистохимических и гистологических методов.

Практически все провизорные структуры, характерные для церкарии *N. oculata*, формируются и в ходе развития гермафродитного поколения *N. anarrhichae*. К ним относятся: пара пигментированных глаз; непарный непигментированный глаз; хвост, снабженный мускулатурой, нервными элементами и сенсиллами; железы проникновения (9 клеток у церкарии *N. oculata* и 13 — у *N. anarrhichae*), протоки которых открываются порами у переднего края ротовой присоски. Развивающиеся церкарии *N. oculata* обладают эмбриональными железами, отсутствующими у *N. anarrhichae*. В хвосте сформированных церкарий *N. oculata* нет экскреторного канала, сохраняющегося у *N. anarrhichae*.

Органы пищеварительной системы обоих видов сформированы, однако просвет в кишечнике (а у *N. anarrhichae* и в пищеводе) еще отсутствует. Количество комиссур между стволами нервной системы и толщина самих стволов у *N. anarrhichae* меньше, чем у церкарии *N. oculata*. Выделительная система обоих видов стеностомного типа. Клетки выстилки мочевого пузыря крупные, у церкарий *N. oculata* заполнены секреторными гранулами. Экскреторная формула церкарии *N. oculata*:  $2[(3+4+4) + (3+3+3)] = 40$ ; у *N. anarrhichae* она варьирует от  $2[(2+2+3) + (2+2+2)] = 26$  до  $2[(3+4+4) + (4+4+3)] = 44$ . Зачаток половой системы обоих видов включает зачатки семенников, семявыносящих канальцев, бурсы цирруса, яичника, яйцевода, желточников, оотипа, Лаурерова канала и матки. Клетки зачатка половой системы у церкарий *N. oculata* еще не дифференцированы, в отличие от *N. anarrhichae*.

Непрерывность онтогенеза гермафродитного поколения *N. anarrhichae* отчетливо маркируется вариабельностью экскреторной формулы: число циртоцитов может как соответствовать таковому у церкарии *N. oculata*, так и превышать его. Гетерохрония проявляется в сохранении у *N. anarrhichae* большинства провизорных структур, характерных для свободноплавающей церкарии *N. oculata*, хотя дефинитивные органы (за исключением пищеварительной системы) претерпевают дальнейшее развитие.

*Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ №18-34-00632.*

# Анатомия и морфогенез колонии гидроидного полипа *DYNAMENA PUMILA* (LINNAEUS, 1758)

Купаева Д. М.<sup>1,2\*</sup>, Кремнев С. В.<sup>2,3</sup>

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

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра эмбриологии, лаборатория биофизики развития

<sup>3</sup> Институт биологии развития, лаборатория эволюции морфогенеза

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

## *Anatomy and morphogenesis of colony of hydroid polyp *Dynamena pumila* (Linnaeus, 1758)*

*Kupaeva D.<sup>1,2</sup>, Kremnyov S.<sup>2,3</sup>*

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

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

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

Колониальный гидроидный полип *Dynamena pumila* (Linnaeus, 1758) — перспективный модельный объект для эволюционной биологии развития. *D. pumila* обладает сложной и нетипичной для класса Hydrozoa анатомией колонии, а также необычными способами морфогенеза на эмбриональной и взрослой стадии жизненного цикла. Для взрослой колонии *D. pumila* характерен морфогенез путем разделения гидроцеля при помощи хитиновых септ. При помощи септ формируются прикрепительный диск столона и отделяются гидранты от общего гидроцеля колонии.

Работа была сделана на базе Беломорской биологической станции им. Н. А. Перцова МГУ. Исследование проводилось на растущих побегах разной стадии формирования терминального модуля при помощи конфокальной и световой микроскопии.

Необычной особенностью анатомии *D. pumila* является наличие дополнительного эпителиального слоя, образующего выстилку перисарка. Этот дополнительный слой можно обнаружить во всех частях колонии со сформированным перисарком: столон, основные модули побега, гидрант.

В процессе формирования внешнего эпидермального слоя клетки мигрируют из эпидермы ценосаркального канала. При этом они теряют признаки эпидермальной ткани, формируют филоподии, которыми прикрепляются к внутренней поверхности перисарка и далее выползают из эпидермального слоя. После миграции клетки распластываются по поверхности перисарка и постепенно формируют непрерывный клеточный слой, который остается связанным с эпидермой канала.

После формирования и открытия гидранта выстилка разрывается в апикальной части, но в ряде случаев остается прикрепленной к краю перисарка. В ней можно идентифицировать 4 тяжа клеток с сильно развитыми актиновыми тяжами, которые, вероятно, выполняют функцию ретракции гидранта.

Другим участком колонии, обладающим наружной эпителиальной выстилкой, являются полости под диафрагмой побега и наружная выстилка столона. В этих участках эпителий выглядит более типично, однако там можно обнаружить скопления активно пролиферирующих i-клеток. Напротив, в участках колонии, в которых происходит активный морфогенез — верхушки роста и формирующиеся септы — клеточных делений не происходит. Неожиданной интересной деталью является активная пролиферация в области оральных структур гидрантов, особенно щупальцах.

*D. pumila* — пример сложно организованной колониальной системы с пространственным разделением клеточных делений и зон активного морфогенеза. Несмотря на эпидермальное происхождение наружной эпителиальной выстилки, можно предположить, что она конвергентно похожа на мезодерму других групп животных: выселение клеток из внутреннего эпителиального слоя с фенотипом эпителиально-мезенхимального перехода и формирование временных эпителиально-мышечных структур.

Исследования выполняются при поддержке РФФИ, проект № 17-04-01988 а.

## Каменноугольный магматизм Карского блока (Северный Таймыр)

Курапов М. Ю.<sup>1\*</sup>, Ершова В. Б.<sup>1</sup>, Худoley А. К.<sup>1</sup>, Макарьев А. А.<sup>2</sup>, Макарьева Е. М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра региональной геологии

<sup>2</sup> Полярная морская геологоразведочная экспедиция (ПМГРЭ), Санкт-Петербург

\* e-mail: mikhail.kurapov@gmail.com

### *Carboniferous Magmatism of Kara block (Northern Taimyr)*

*Kurapov M.<sup>1</sup>, Ershova V.<sup>1</sup>, Khudoley A.<sup>1</sup>, Makariev A.<sup>2</sup>, Makarieva E.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Regional Geology

<sup>2</sup> Polar Marine Geosurvey Expedition, St. Petersburg

Арктика в связи с ее труднодоступностью является слабо изученной областью Земли, а ее геологическая эволюция все еще богата множеством нерешенных фундаментальных проблем. Одной из таких проблем является история тектонического развития Карского блока, включающего в себя Северный Таймыр и архипелаг Северная Земля, в палеозое. Комплексная характеристика магматических комплексов уточнит существующие модели (Lorenz et al., 2008; Metelkin et al., 2005).

Изучаемые палеозойские магматические комплексы располагаются вдоль северного и северо-западного побережья полуострова Таймыр, а также на островах в акватории Карского моря. Изученные интрузии располагается в пределах Северо-Таймырской тектонической зоны, в строении которой принимают участие в основном отложения верхнего венда (?) и кембрия, менее распространены юрско-меловые породы (Верниковский, 1996).

Петрографические исследования показали, что породы, слагающие массивы, преимущественно представлены нормально и умеренно-щелочными двуслюдяными гранитами, биотитовыми гранитами, а также лейкогранитами. Менее распространены роговообманково-биотитовые граниты и среднезернистые гранодиориты. Геохимическая характеристика гранитоидов позволяет отнести их к магнезиальным, щелочно-известковым, известково-щелочным, мета- и пералюминиевым образованиям (Frost et al., 2001). Распределения редкоземельных элементов в породах характеризуются обеднением в тяжелой и обогащением в легкой части, для всех пород характерна отрицательная Eu аномалия. Гранитоиды имеют величины начального отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в интервале от 0,70287 до 0,71027. Петрогеохимические особенности указывают на сходство изученных гранитоидов с гранитами I-типа. Наиболее вероятной геодинамической обстановкой их формирования является обстановка континентальной окраины андийского типа (Ruks et al., 2006).

Возраст кристаллизации цирконов в изученных интрузиях соответствует раннему-среднему карбону.

Полученные данные свидетельствуют о существовании активной окраины андийского типа вдоль южной окраины Карского блока (в современных координатах) на протяжении карбона.

*Проект выполняется при поддержке грантом РФФ № 17-17-01171.*

## Содержание флоротаннинов в двух субклеточных фракциях у 16 видов Беломорских бурых водорослей

Лемешева В. С. \*, Тараховская Е. Р.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра физиологии и биохимии растений

\* e-mail: st035098@student.spbu.ru

### *Phlorotannin content in two subcellular fractions of 16 species of White Sea brown algae*

*Lemesheva V. S., Tarakhovskaya E. R.*

Saint Petersburg State University, Department of Plant Physiology and Biochemistry

Флоротаннины — это специфический класс фенольных метаболитов бурых водорослей, олиго- и полимеры флороглюцина (1,3,5-триоксибензола) с молекулярной массой до 650 кДа. Клетки бурых водорослей содержат две фракции флоротаннинов: растворимую (в специальных органеллах — физодах), и ковалентно связанную с компонентами клеточных стенок (КС). Флоротаннины участвуют во многих процессах жизнедеятельности водорослей, таких как эмбриогенез, формирование клеточной стенки, биоадгезия, защита от УФ излучения и фитофагов и др. Известно, что как разные виды, так и популяции одного вида водорослей, занимающие схожие экотопы, могут существенно различаться по содержанию растворимых фенолов. Содержание растворимых флоротаннинов зависит от многих экологических, географических и генетических факторов, таких как сезон, доступность минеральных веществ, активность фитофагов, стадия развития водоросли и т. д. Однако на сегодняшний день далеко не все виды бурых водорослей хорошо изучены с точки зрения содержания растворимых флоротаннинов, а КС-фракция практически вообще не исследована — количественные данные по этой теме единичны и ограничены 1–2 объектами. При этом полностью отсутствуют попытки связать эти данные с особенностями экологии или физиологии водорослей.

Цель нашей работы состоит в определении содержания растворимых и КС-связанных флоротаннинов в талломах 16 видов бурых водорослей: *Desmarestia aculeata* (Desmarestiales), *Sphacellaria plumosa* (Sphacellariales), *Chorda filum*, *Saccharina latissima* (Laminariales), *Punctaria plantaginea*, *Stictyosiphon subarticulatus*, *Pylaiella littoralis*, *Chordaria flagelliformis*, *Dictyosiphon hippuroides*, *Ectocarpus siliculosus*, *Elachista fucicola* (Ectocarpales), *Fucus vesiculosus*, *F. serratus*, *F. edentatus*, *Pelvetia canaliculata*, *Ascophyllum nodosum* (Fucales). У видов порядка Fucales содержание флоротаннинов было определено в четырех зонах таллома: основании, средней зоне, апексах (зона роста) и зрелых рецептакулах (органы размножения).

Содержание растворимых флоротаннинов в талломах изученных водорослей варьировало от 1 (*S. latissima*) до 25 (апексы *F. serratus*) % сух. массы. Наиболее высокие значения наблюдались у представителей пор. Fucales и Ectocarpales. Содержание КС-связанных флоротаннинов в талломах большинства водорослей было значительно ниже, чем содержание растворимых фенолов. У фукоидов эта фракция в среднем составила 7–10 % от общего содержания флоротаннинов, у *D. aculeata*, ламинариевых и большинства эктокарпусовых — 15–30 %, у *S. plumosa* — 40 %. Максимальное относительное содержание КС-связанных флоротаннинов (70 % от общего содержания фенолов) было обнаружено в талломах *S. subarticulatus*. Все фукоиды продемонстрировали специфичные профили распределения полифенолов вдоль таллома, причем профили растворимых и КС-связанных флоротаннинов, как правило, различались. Наибольшим содержанием растворимых флоротаннинов отличались верхушки и середины талломов, в то время как КС-связанные флоротаннины преобладали в основании таллома (*F. vesiculosus*, *F. serratus*), реже — в рецептакулах (*A. nodosum*). По-видимому, неравномерное содержание флоротаннинов разных фракций в разных зонах таллома макроводорослей отражает анатомическую и физиологическую специализацию данных зон: более жесткие клеточные стенки в основании таллома многолетних видов, необходимость дополнительной защиты от УФ излучения меристематических верхушек талломов и др.

Проект выполняется при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-04-01331).

## Колебания уровня моря в губе Кереть Белого моря

*Липатов М. А. \*, Смагин Р. Е.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра океанологии

\* e-mail: m.a.lipatovv@gmail.com

### *Fluctuations of sea level in the Keret Bay of the White Sea*

*Lipatov M., Smagin R.*

Saint Petersburg State University, Department of Oceanology

Губа Кереть — часть Кандалакшского залива Белого моря, отделенная от открытого моря островами Средний и Горелый. Водообмен с морем происходит через эстуарные проливы, поскольку губа одновременно является приливным эстуарием реки Кереть. Приливы и речной сток вносят существенный вклад в гидрологические процессы (колебания уровня моря в том числе), происходящие в данном месте.

На острове Средний располагается Учебно-научная база Санкт-Петербургского государственного университета (УНБ СПбГУ «Беломорская»). Здесь проводятся учебные, научные и производственные практики студентов различных направлений, включая профиль «Океанология».

Наблюдение за колебаниями уровня моря в губе Кереть (пост на о. Средний) проводятся кафедрой океанологии СПбГУ с 2011 г. при помощи уральной рейки, однако это средство не отличается высокой точностью, а дискретность измерений составляет один час. В рамках «Соглашения о сотрудничестве», подписанного СПбГУ в 2017 г. с ООО «Фертоинг», на УНБ «Беломорская» был установлен урально-волномерный пост системы автоматизированного гидрометеорологического мониторинга (САГМ), являющейся собственной разработкой компании: [http://earth.spbu.ru/news-events/news-all\\_1061.html](http://earth.spbu.ru/news-events/news-all_1061.html).

Установленный на САГМ радарный датчик производит измерения уровня моря и параметров волнения. Наличие САГМ позволяет получать данные с возможностью осреднения 1 раз (одно значение) в 10 мин, что улучшает качество предыдущих наблюдений за уровнем моря. Прибор работает автономно за счет установленной на нем солнечной батареи, а полученные данные доступны в режиме онлайн на сервере ООО «Фертоинг». Передача данных на сервера осуществляется по сети GSM. Таким образом, имеется возможность работать с данными в реальном времени, а также дополнить сведения о приливном режиме губы Кереть, который важен для проведения гидробиологических и экологических исследований.

# Сколько лет живут *MACOMA CALCAREA* (GMELIN) в Белом море: определение возраста по внешней морфологии и спилам раковины

Лисицына К. Н.\*, Герасимова А. В.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии

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

## *How long Macoma calcaria (Gmelin) lives in the White Sea: age determination using external morphology and shell cross-sections*

Lisitsina K. N., Gerasimova A. V.

Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology

Бореально-арктические *Macoma calcaria* относятся к одним из наиболее часто встречающихся относительно массовых представителей Bivalvia в инфауне шельфа всех северных морей России. Популяционные характеристики данного вида могут быть весьма показательны при экологическом мониторинге, однако до сих пор изучены крайне слабо, во многом из-за проблем с оценкой возраста представителей данного вида. В ходе многолетних наблюдений за структурой нескольких поселений *Macoma calcaria* в Белом море были получены данные, свидетельствующие о том, что максимальные размер и продолжительность жизни моллюсков в изучаемой акватории, оцененные по внешней морфологии раковины, составляют 29 мм и 9 лет соответственно (Герасимова, Максимович, 2009). При этом не удалось выявить замедление скорости роста моллюсков с возрастом даже в старших возрастных группах. Особи в возрасте 6–8 лет оставались весьма активно растущими — более 3 мм в год. Возможно, причина такой ситуации была в недостаточной надежности определения возраста *Macoma calcaria* по наружным кольцам. Поэтому было интересно привлечь для определения возраста маком методику анализа меток во внутренних слоях раковины. Основная задача данной работы состояла в сравнении результатов определения возраста беломорских *Macoma calcaria* обоими способами.

Материалом для данной работы послужили дражные сборы маком в летний период 1991–1992 гг. на участке илисто-песчаной бентали (глубины 10–18 м) в проливе Подпахта (Кандалакшский залив). Возраст моллюсков был оценен как по наружным кольцам (174 особи), так и по меткам во внутренних слоях раковины (по спилам). В последнем случае створки раковин (у всех особей использовали правую створку) были распилены от вершины к наиболее удаленному краю, спилы отшлифованы и отполированы. Под биноклем подсчитывали количество меток роста на спилах подмакушечных зубов замка. Всего таким образом было обработано 20 особей.

Сравнение результатов, полученных по наружным и внутренним кольцам, показало, что итоги определения возраста *Macoma calcaria* обоими методами вполне сопоставимы. Внутренние метки практически полностью дублировали наружные кольца. При использовании наружной морфологии раковины мы, по-видимому, немного недооценили максимальную продолжительность жизни маком в Белом море; по внутренним меткам она составила 10 лет — последние ростовые кольца на раковинах крупных особей были с трудом различимы. Как оказалось, беломорские *Macoma calcaria* относятся к наиболее быстро растущим и короткоживущим представителям вида, достигая размеров 29 мм всего за 10 лет, в то время как аналогичные показатели вида в водах Западной Гренландии составили 30 мм и 17 лет соответственно (Petersen, 1978). При этом остается неясным отсутствие в изученных беломорских поселениях крупных и медленно растущих маком, поскольку даже найденные самые большие особи (26–28 мм) были в состоянии весьма активного роста. Мы предполагаем, что причиной этого может послужить выедание крупных маком бентосоядными рыбами.

Авторы выражают благодарность руководству Учебно-научной базы «Беломорская» за предоставленную возможность сбора материала.

## Параспермальный белок LOSP как фактор репродуктивной изоляции криптических видов моллюсков рода *LITTORINA*

Лобов А. А.<sup>1\*</sup>, Мальцева А. Л.<sup>1</sup>, Бабкина И. Ю.<sup>1</sup>, Михайлова Н. А.<sup>2</sup>, Гранович А. И.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Институт Цитологии РАН, отдел клеточных культур

\* e-mail: arseniylobov@gmail.com

### *Paraspermal protein LOSP as a factor of reproductive isolation between Littorina sibling species*

Lobov A.<sup>1</sup>, Maltseva A.<sup>1</sup>, Babkina I.<sup>1</sup>, Mikhailova N.<sup>2</sup>, Granovitch A.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Institute of Cytology RAS, Department of Cell Culture

На Северо-Атлантических побережьях Евразии подрод *Neritrema* рода *Littorina* представлен двумя группами криптических видов: «*obtusata*» — *L. obtusata*, *L. fabalis* и «*saxatilis*» — *L. saxatilis*, *L. arcana*, *L. compressa*. Эти группы репродуктивно изолированы, и между ними существуют конхиологические различия, но между рядом видов внутри криптических групп зафиксирован поток генов. Ситуация осложняется тем, что для этих моллюсков показана высокая физиологическая подразделенность в экологических градиентах приливно-отливной зоны. Особенно это характерно для *L. saxatilis*, формирующей независимо воспроизводящиеся в разных популяциях и частично репродуктивно изолированные экотипы.

Считается, что эта система появилась вследствие экологического видообразования, все еще активно протекающего в этой группе, и один из ключевых вопросов — как и на каком этапе формируется репродуктивная изоляция. Репродуктивные барьеры до осеменения и после формирования зиготы реализуются лишь частично, а в ряде случаев их и вовсе не удается зафиксировать — репродуктивная изоляция реализуется в этой группе на этапе взаимодействия гамет.

Мы проанализировали все источники белков взаимодействия гамет самцов рода *Littorina* и обнаружили белок из нового для науки параспермального семейства — LOSP. Этот белок значительно различается между видами, что подтверждает его роль в репродуктивной изоляции. Его внутривидовая вариабельность значительно различается между популяциями; особенно хорошо это видно при сравнении популяций Белого и Баренцево морей. Наблюдаемые различия могут свидетельствовать о значительных экологических различиях между этими точками — мы наблюдаем высокий уровень полиморфизма LOSP в популяциях, для которых показан высокий уровень внутривидовой подразделенности.

Исследования были поддержаны грантом РФФИ номер 18-34-00873, и с использованием оборудования Ресурсного центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий» СПбГУ и Учебно-научной базы «Беломорская» СПбГУ.

## Микроскопическая анатомия половой системы *TORQUARATOR BULLOCKI* (TORQUARATORIDAE, ENTEROPNEUSTA) из Берингова моря

Лукиных А. И.\*, Ежова О. В.

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

\* e-mail: lukinyh.anastasiya@yandex.ru

### *Microscopic anatomy of the reproductive system of Torquarator bullocki (Torquaratoridae, Enteropneusta) from the Bering Sea*

Lukinykh A. I., Ezhova O. V.

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

Кишечнодышащие (Enteropneusta) — класс типа Hemichordata, объединяющий свободноживущих червеобразных морских полухордовых. Большинство исследований, посвященных микроскопической анатомии кишечнодышащих, выполнено на представителях семейств Harrimaniidae, Ptychoderidae и Spengelidae, обитающих на небольших глубинах и зарывающихся в грунт. Относительно недавно описано новое семейство кишечнодышащих Torquaratoridae (Holland, Clague, Gordon, Gebruk, Pawson & Vecchione, 2005), представители которого обитают на глубинах 350–4500 м и способны «парить» над поверхностью морского дна. Строение представителей семейства Torquaratoridae сильно отличается от такового мелководных кишечнодышащих.

Когда в нашем распоряжении оказалось несколько экземпляров *Torquarator bullocki* (Torquaratoridae), обнаруженных на глубине 2289 м в Командорской котловине, Берингово море, в ходе 75-го рейса НИС «Академик М. А. Лаврентьев» (2016 г.), мы решили в первую очередь изучить анатомическую организацию их половой системы. Для этого мы использовали методы световой и сканирующей микроскопии. Были получены следующие результаты.

Гонады кишечнодышащих развиваются в целоме генитальных крыльев. У *T. bullocki* генитальные крылья представляют собой парные длинные, довольно узкие складки, отходящие по бокам туловища и поднимающиеся к дорсальной стороне животного, охватывая туловище с боков.

Почти всю полость генитальных крыльев самца *T. bullocki* занимают семенники, выступающие над поверхностью генитальных крыльев в перибранхиальную полость. В среднем, на одном поперечном срезе генитального крыла можно насчитать от 10 до 18 семенников. Семенники различаются по форме и размерам. Большинство зрелых семенников состоит из лопастной и овальной частей, соединенных столбиком. Лопастная часть погружена в полость генитального крыла; овальная часть выдается в перибранхиальную полость. Внутреннее строение семенников стандартно для кишечнодышащих. На срезах обнаруживаются сперматогенные клетки, сперматоциты и сперматозоиды.

В целоме генитальных крыльев самки *T. bullocki* обнаружены многочисленные яичники с созревающими в них ооцитами и яйцеклетками. В одном яичнике содержится несколько ооцитов и яйцеклеток. У большинства описанных ранее Torquaratoridae яйцеклетки не собраны в яичники. Созревший яичник *T. bullocki* открывается в перибранхиальную полость небольшим каналом, образованным слившимися базальными пластинками покровного эпителия и яичника. Через этот канал яйцеклетки выходят непосредственно в покровный эпителий перибранхиальной полости, где, как мы предполагаем, потом и развиваются эмбрионы. Основываясь на том, что в одном яичнике располагаются ооциты, находящиеся на разных стадиях развития, можно говорить об асинхронном развитии.

Отдельно стоит отметить, что в оригинальном описании *T. bullocki* рассматривается только самка, поэтому полученные нами данные об анатомической организации половой системы самца являются новыми для этого вида.

Гистологическое исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-04-00482-а. Остальные этапы исследования, а также подготовка постера осуществлены при финансовой поддержке гранта РНФ 18-74-10025.



## Особенности взаимодействия *SACCOLINA PILOSELLA* и *POLYASCUS POLYGENEA* (RHIZOCERPHALA: SACCOLINIDAE) с нервной системой хозяина

Лянгузова А. Д.<sup>1\*</sup>, Миролюбов А. А.<sup>2</sup>, Илюткин С. А.<sup>1</sup>, Лапшин Н. Е.<sup>1</sup>, Нестеренко М. А.<sup>1</sup>, Добровольский А. А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Зоологический Институт РАН

\* e-mail: reinhardtlennon@gmail.com

### *Peculiarities of the interaction of Sacculina pilosella and Polyascus polygenea (Rhizocephala: Sacculinidae) with the nervous system of the host*

Lianguzova A. D.<sup>1</sup>, Miroliubov A. A.<sup>2</sup>, Ilyutkin S. A.<sup>1</sup>, Lapshin N. E.<sup>1</sup>, Nesterenko M. A.<sup>1</sup>, Dobrovolsky A. A.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS

Rhizocephala — группа крайне специализированных паразитических ракообразных, ближайшими родственниками которых являются морские желуди и морские уточки. Корнеголовые раки привлекают к себе внимание специалистов из разных областей биологии. И внешний, и внутренний облик взрослого организма в процессе эволюции изменился до такой степени, что принадлежность представителей Rhizocephala к ракам была установлена только благодаря их циприсовидной личинке. Для корнеголовых раков характерен жизненный цикл, включающий в себя полную перестройку личинок в новые стадии в жизни организма.

Еще одна особенность Rhizocephala заслуживает отдельного рассмотрения. Как и некоторые другие паразиты, эти паразитические ракообразные способны оказывать большое влияние на своих хозяев: они влияют на их физиологию, контролируют личинный цикл, изменяют морфологию и поведение. Последнее явление наиболее широко изучено на примере *Sacculina carcini* (Rhizocephala: Kentrogonida: Sacculinidae). Заражая самцов, корнеголовые раки феминизируют их внешний облик (например, увеличивается размер abdomena) и, более того, способствует тому, чтобы хозяин начал проявлять паттерны поведения, свойственные женским особям во время размножения, тем самым распространяя в окружающую среду личинок паразита.

Однако до сих пор остается неясным вопрос, каким образом происходят эти паразит-хозяинные взаимодействия. До недавнего времени считалось, что между интерной представителей Rhizocephala и нервной системой хозяина не существует никаких прямых контактов. Последние же исследования по ультраструктуре и гистологии нервной ткани и оплетающих ее столон паразита показали обратное. Так, у представителей семейства Peltogastridae столон интерны проникают в брюшную нервную цепочку хозяина, образуя внутри бокаловидные структуры. Наблюдалось изменение тканей как паразита, так и хозяина.

В данном исследовании мы сфокусировались на изучении характера взаимодействия представителей семейства Sacculinidae с нервными элементами их хозяев. Столоны представителей семейства, как *Sacculina pilosella*, так и *Polyascus polygenea*, тоже взаимодействуют с нервной системой хозяина. В данном случае ткани паразита взаимодействуют с тканями хозяев несколько иным образом. Так, стolon интерны проникает не только под оболочку ганглия, но и может оказываться внутри нервного ствола, заполняя большую часть его пространства и оставляя совсем немного пространства для нервных клеток хозяина. Нами не было обнаружено каких-либо структур, похожих на бокаловидные органы представителей сем. Peltogastridae. Однако мы наблюдали, что в столонках, находящихся в толще нервной ткани хозяина, ультраструктура кутикулы, покрывающей стolon, и подлежащие под ней ткани заметно отличаются от обычных трофических столонков. Кроме того, в толще этих столонков были обнаружены странные структуры, окрашивающиеся антителами к серотонину.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ мол\_а №18-34-00727\18.

# Консервативные регуляторные гены развития кишки из семейства FoxA: описание структурной организации и экспрессии у представителей типа ANNELIDA

Мелентий А. Г.\*<sup>\*</sup>, Цыбатова Е. В., Козин В. В., Костюченко Р. П.  
Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра эмбриологии  
<sup>\*</sup> e-mail: alexandermelentiy@gmail.com

## *Conservative regulatory genes of intestinal development FoxA: description of structural organization and expression in Annelida*

Melentiy A. G., Tsybatova E. V., Kozin V. V., Kostyuchenko R. P.  
Saint Petersburg State University, Department of Embryology

Для семейства транскрипционных факторов Fox характерно наличие forkhead (или winged-helix) домена, способного напрямую связываться с инактивированным участком ДНК, изменяя его структуру и делая его доступным для взаимодействия с другими транскрипционными факторами. Такая способность делает транскрипционные факторы Fox пионерными и ключевыми в регуляции транскрипции. Fox гены, в том числе и *foxA*, участвуют в спецификации клеточных линий и дифференцировке различных зачатков в ходе раннего эмбрионального развития, морфогенезах, метаболизме и контроле клеточных циклов, что делает их очень перспективными для исследования.

Среди билатеральных животных роль *foxA* консервативна и заключается в формировании отделов кишки и спецификации энтодермы. У большинства изученных представителей Bilateria экспрессия *foxA* выявлена в клетках, прилегающих к бластопору. Среди аннелид с планктотрофной личинкой, таких как *Chaetopterus*, *Owenia* и *Hydroides*, экспрессия *foxA* отмечена в бластомерах вегетативной пластинки, которые являются предшественникам энтодермы (Arenas-Mena, 2006; Boyle, Seaver, 2010; Martín-Durán et al., 2016). В развитии животных с формированием лецитотрофной личинки и признаками эмбрионизации, то есть прохождением некоторых продвинутых стадий еще под эмбриональными оболочками, может наблюдаться временной сдвиг экспрессии *foxA* на стадию гастрюляции. Такая картина наблюдается у нереидных полихет, *Capitella* и *Themiste* (Boyle, Seaver, 2008, 2010, Kostyuchenko et al., 2019). Недавно нами была показана динамика экспрессии *foxA* в ходе эмбрионального развития нереидных полихет *Platynereis dumerilii* и *Alitta virens*. Домены экспрессии ассоциированы с гастрюляцией и формированием различных участков кишки, а также предшественниками мезодермы и элементами нервной системы. Помимо этого, впервые была обнаружена *de novo* экспрессия *foxA* в ходе регенерации. После ампутации задних сегментов домены экспрессии выявлены в терминальном отделе кишечника, а также при формировании задней кишки и ануса (Kostyuchenko et al., 2019).

Количество гомологов *foxA* у представителей группы Annelida не одинаково и увеличивается в ряду от полихет к олигохетам и пиявкам. У большинства полихет подсемейство представлено только одним гомологом. Согласно нашим данным, полученным при анализе транскриптома, у олигохеты *Enchytraeus coronatus* идентифицировано 4 гомолога *foxA*. У пиявки *Helobdella* подсемейство *foxA* представлено тремя гомологами *foxA*, которые помимо выполнения консервативных функций, задействованы в формировании других структур, например, нервных ганглиев и присоски. (Kuo, Hsiao, 2018).

Таким образом, *foxA* сохраняет консервативную роль в обособлении энтодермы и формировании пищеварительного тракта. В то же время в ряду пиявок и олигохет наблюдается увеличение количества гомологов гена, предполагающее возможное расширение функций, включая спецификацию клеточных линий и вовлечение в развитие эволюционно продвинутых структур.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №16-04-00991-а и 19-04-01111-а, РНФ 17-14-01089, с использованием оборудования РЦ РМиКТ СПбГУ.

## Сравнительный анализ клеточного размножения и тканевых перестроек при регенерации у аннелид

Никанорова Д. Д. \*, Шалаева А. Ю., Козин В. В., Костюченко Р. П.  
Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра эмбриологии  
\* e-mail: daria.nikanorova@mail.ru

### *Comparative analysis of cellular reproduction and tissue reorganization during regeneration in annelids*

*Nikanorova D. D., Shalaeva A. Yu., Kozin V. V., Kostyuchenko R. P.*  
Saint Petersburg State University, Department of Embryology

Способность к регенерации широко представлена среди кольчатых червей, при этом механизмы процесса могут сильно варьировать в пределах всего таксона. Несмотря на большое количество исследований, ряд принципиальных вопросов до сих пор остается нерешенным. Наибольший интерес вызывает происхождение клеток, участвующих в формировании бластемы, и вклад старых тканей в восстановление утраченных структур. Сравнение процессов регенерации у разных видов аннелид позволяет выявить как консервативные черты, которые могут быть анцестральными для всего таксона, так и индивидуальные особенности восстановительного морфогенеза у нереидной полихеты *Alitta virens* и почвенной олигохеты *Enchytraeus coronatus*.

Используя флуоресцентно меченый аналог тимидина EdU в различных экспериментальных условиях, мы попытались проследить судьбу делящихся клеток и оценить их вклад в формирование бластемы в ходе задней регенерации *Alitta virens* и *Enchytraeus coronatus*.

Процесс регенерации у *Enchytraeus coronatus* и *Alitta virens* осуществляется преимущественно путем эпиморфоза с образованием бластемы, время закладки, объем и характер дифференциации которой отличается для этих двух организмов. Регенерация заднего конца характеризуется формированием *de novo* зоны роста, за счет которой восстанавливается полный набор утраченных сегментов путем вставочного роста. Восстановление недостающих структур происходит главным образом за счет локального повышения пролиферативной активности клеток, входящих в состав производных всех трех зародышевых листков.

Кроме того, был проведен сравнительный анализ восстановления нервной системы. В результате было показано, что этот процесс имеет преимущественно эпиморфный характер у обоих видов. Тем не менее, были обнаружены и морфаллактические перестройки, в частности, на ранних стадиях регенерации нервные элементы восстанавливаются за счет нейритов из старых сегментов.

Работа выполнена на базе морской биологической станции СПбГУ (Учебно-научная база «Беломорская») при поддержке гранта РФФИ (17-14-01089), гранта РФФИ (16-04-00991-а), с использованием оборудования РЦ РМиКТ и РЦ МиМ СПбГУ.

## Спикульный аппарат голожаберных моллюсков семейства ONCHIDORIDAE (MOLLUSCA, NUDIBRANCHIA, DORIDACEA)

Никитенко Е. Д.\*, Ворцепнева Е. В.

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

\* e-mail: nikitenkocatia@yandex.ru

### *Spicules networks of the nudibranch mollusks of family Onchidoridae (Mollusca, Nudibranchia, Doridacea)*

*Nikitenko E., Vortsepneva E.*

Lomonosov Moscow State University, Biology faculty, Invertebrate Zoology Department

Doridacea — широко распространенный подотряд голожаберных моллюсков (Nudibranchia, Gastropoda). Дориды, как и все представители голожаберных моллюсков, лишены раковины, однако в процессе эволюции они приобрели спикулы — структуры, функционально заменяющие ее.

Несмотря на то, что наличие спикул в покровах дорид известно давно, строение спикульного аппарата изучено крайне фрагментарно. В данной работе рассматриваются спикулы *Acanthodoris pilosa* (Abildgaard in Müller, 1789), *Adalaria proxima* (Alder & Hancock, 1854), *Onchidoris muricata* (O. F. Müller, 1776) — представителей сем. Onchidoridae. Цель данной работы — комплексное описание строения спикульного аппарата и их сравнение.

Сбор материала осуществлялся в летний период 2016–2018 гг. в Кандалакшском заливе Белого моря в окрестностях Беломорской биологической станции им. Н. А. Перцова. В работе применялись классические методы световой и сканирующей электронной микроскопии.

В результате работы для представителей сем. Onchidoridae впервые было сделано комплексное описание строения спикульных трактов с детализацией внешней и внутренней морфологии спикул, участвующих в их формировании. Нами было выделено особое строение переходной зоны между вертикальным и горизонтальным трактами, спикулы данной области выделены в особый тип тракта — звездчатый. Отмечено, что способ упаковки спикул зависит от их формы и влияет на плотность покровов.

При сравнении спикульных трактов представителей сем. Onchidoridae отмечен общий план строения горизонтального тракта, а также существенные различия в строении вертикального. В данной работе описана корреляция толщины покровов с толщиной слоя спикул — чем толще покровы тела, тем меньше толщина спикульных трактов.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-34-00251.*

## ***Pygospio elegans*: модель для изучения регенерации**

Новикова Е. Л.<sup>1\*</sup>, Старунов В. В.<sup>2</sup>, Нестеренко М. А.<sup>2</sup>, Кулакова М. А.<sup>1</sup>

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

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

\* e-mail: elena.novikova.03.06@gmail.com

### ***Pygospio elegans: a model for regeneration studies***

Novikova E.<sup>1</sup>, Starunov V.<sup>2</sup>, Nesterenko M.<sup>2</sup>, Kulakova M.<sup>1</sup>

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

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

*Pygospio elegans* — это гетерономно сегментированная полихета из семейства Spionidae. Тело *P. elegans* состоит из нескольких отделов: 1) голова с длинными пальпами; 2) грудной отдел из 12 (иногда 13) сегментов; 3) абдоминальный отдел вариабильной длины, состоящий из сегментов, несущих жабры; 4) хвостовой отдел (до 10–15 сегментов); 5) пигидий с четырьмя пигидиальными циррами. Эта полихета способна к бесполому размножению фрагментацией и, как следствие, умеет быстро восстанавливать и переднюю, и заднюю части тела (Rasmussen, 1953). На настоящий момент существует всего несколько работ, описывающих процесс регенерации *P. elegans*, и все они были выполнены 10–15 лет, а то и более полувека назад (Маликова, 1975; Gibson et al., 2000; Forest, Lindsay, 2008). Данная работа посвящена описанию динамики передней и задней регенерации *P. elegans*, а также изучению восстановления нервной и мышечной систем после разрезания червя в области абдомена.

Животные были собраны на Баренцевом море, на литорали вблизи пос. Дальние Зеленцы и содержались в лаборатории при 18 °С. Червей разрезали после 8 абдоминального сегмента, и динамика регенерации была прослежена в течение недели после ампутации. В отдельной серии опытов мы разрезали червей после 8–10 грудного сегмента и наблюдали за ними в течение двух недель. Динамика восстановительных процессов зафиксирована с помощью сканирующего электронного микроскопа. Для окраски нервной системы использовались антитела к ацетилированному и тирозинированному тубулину и различным нейромедиаторам. Для окраски мышечной системы использовался фаллоидин.

На ранних этапах и передней, и задней регенерации происходят сходные процессы. Сразу после операции сокращаются поперечные мышцы в области повреждения, что минимизирует раневую поверхность и предотвращает вытекание целомической жидкости. В первые сутки происходит затягивание раны раневым эпителием. Бластема начинает формироваться на вторые сутки после ампутации и становится хорошо заметна к 48 часам после ампутации. На более поздних стадиях идет процесс органогенеза. Сзади формируется пигидий с пигидиальными циррами, и практически одновременно начинают формироваться новые сегменты из зоны роста. Спереди из передней бластемы формируется голова и грудной отдел с 12 сегментами, которые закладываются практически одновременно. При разрезании червей по грудному отделу спереди закладываются недостающие грудные сегменты и головные структуры, а сзади формируются пигидий и хвостовые сегменты. К двум неделям после ампутации эти черви по-прежнему имеют только грудные и хвостовые сегменты, абдоминальный отдел не сформирован.

Динамика передней и задней регенерации *P. elegans* в целом сходна с описанной ранее для других полихет (Ózpolat, Bely, 2016). Интересным представляется неспособность червя достроить грудные сегменты при их частичном удалении из новообразованной зоны роста. Эта ситуация, вероятно, связана с конфликтом на уровне позиционной информации, возникающем при необходимости сформировать грудной сегмент из хвостового.

Авторы выражают благодарность РЦ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и РЦ «Хромас». Работа поддержана грантом РФФИ 18-04-00450.

## **Особенности организация трохофоры погонофоры *SIBOGLINUM FIORDICUM* (SIBOGLINIDAE, ANNELIDA): к вопросу о регионализации тела погонофор**

Пименов Т. П.<sup>1</sup>, Свавильная А. А.<sup>1</sup>, Карасева Н. П.<sup>1</sup>, Темерева Е. Н.<sup>1</sup>, Храмова Ю. В.<sup>2</sup>, Римская-Корсакова Н. Н.<sup>1\*</sup>

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

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

\* e-mail: nadezdarkorsakova@gmail.com

### ***Anatomy of the trochophore of frenulate Siboglinum fiordicum (Siboglinidae, Annelida): regionation of the frenulate pogonophoran body***

Pimenov T. P.<sup>1</sup>, Svavilnaya A. A.<sup>1</sup>, Karaseva N. P.<sup>1</sup>, Temereva E. N.<sup>1</sup>, Khramova Yu. V.<sup>2</sup>, Rimskaya-Korsakova N. N.<sup>1</sup>

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

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

В основе работы лежит вопрос о том, какой план строения, гетерономный или гомономный, мог бы быть исходным у кольчатых червей. В текущей работе мы исследовали план строения необычной трохофорной личинки погонофоры *Siboglinum fiordicum* из группы бескишечных червей зибоглинид, у которых разделение тела на сегменты до сих пор не установлено. Нашей основной задачей является поиск морфологических черт личинки *S. fiordicum*, которые могут помочь решить вопрос с регионализацией тела взрослых погонофор (границы простомиума, перистомиума, туловищных сегментов, зона роста и пигидия). Мы исследовали морфологию личинки при помощи методов электронной, конфокальной и световой микроскопии. Мы предполагаем, что конусовидная эписфера лежит перед прототрохом и формирует простомиум, в эпидермисе которого располагается мощный нейропиль мозговой комиссуры и глаза. Зона от прототроха (включительно) и до септы формирует перистомиум. Здесь имеются невротрох, в будущем закладывается единственное щупальце на спинной стороне, в эпидермисе в задней части перистомиума закладываются железы, секретирующие материал трубки. Первый сегмент закладывается сразу перед телотрохом, его передняя граница маркирована септой, и этот сегмент несет щетинки. От телотроха (включая его самого) и до конца тела личинки лежит зона пигидия, в котором эктодерма формирует кишку, имеется терминальный анус. Внутри перистомиума и задней части простомиума лежит кишка, ее огромные эпителиальные клетки заполнены крупными жировыми каплями и несут жгутики и микроворсинки, направленные в еле заметный просвет кишки. В щелевидном пространстве между кишкой и эпидермисом лежит мезодерма, в которой можно различить слои спланхно- и соматоплевры. В работе проведен сравнительный анализ планов строения трохофорных личинок аннелид и сделаны выводы об особенностях строения трохофор седентарных аннелид.

## Сопряженность динамики обилия личинок мидий в планктоне и оседания спата на искусственные субстраты в Белом море

Рамодина Ю. И.<sup>1\*</sup>, Флячинская Л. П.<sup>2</sup>, Сухотин А. А.<sup>2</sup>

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

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

\* e-mail: gospodinpingvin@yandex.ru

### *Interconnection of the dynamics of the abundance of mussel larvae in plankton and spat settlement on artificial substrates in the White Sea*

Ramodina J.<sup>1</sup>, Flyachinskaya L.<sup>2</sup>, Sukhotin A.<sup>2</sup>

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

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

Вопросы функционирования и поддержания генетического разнообразия метапопуляций морских животных всегда интересовали популяционных биологов. Изучение механизмов поддержания гетерогенности в популяциях важны для понимания условий репродуктивного успеха особей и селективного преимущества разных когорт оседающей молодежи. Для этих целей активно исследуются морские беспозвоночные, имеющие планктонную личинку в жизненном цикле, в том числе двустворчатые моллюски. Оценка гетерогенности осевшей молодежи, ее ростовых потенциалов и выживаемости особенно актуальна для развития технологий выращивания коммерчески значимых моллюсков, в частности, мидий. Вопросы о синхронизации нереста и растянутости его во времени активно изучаются в Белом море.

Целью работы было изучение временной динамики формирования поселения мидий на искусственных субстратах и оценка гетерогенности спата в течение периода оседания. В задачи работы входило: выяснение сроков и длительности периода нахождения личинок мидий в планктоне и оседания молодежи на субстраты; степень синхронизации этих процессов; описание динамики плотности спата на субстратах и особенностей роста молодежи.

В летний сезон 2018 года в бухте Круглой губы Чупа (Белое море) был организован экспериментальный полигон, на котором были выставлены искусственные субстраты для отбора количественных проб спата мидий и планктона. Субстраты располагались на двух горизонтах — 0,5 и 2,5 метра. Пробы планктона и спата отбирали еженедельно с конца июня до конца сентября.

Часть субстратов были «накопительные» (экспонировались на протяжении всего периода оседания), и другая часть — «сменные» (субстраты снимались и заменялись каждую неделю).

На протяжении периода оседания также фиксировались пробы молодежи для последующего морфологического и генетического анализов.

Результаты работы:

1. Выявлен один массовый пик численности велигеров в планктоне — 7 июля (4888 шт./м<sup>3</sup>), один пик педивелигеров — 21 июля (2181 шт./м<sup>3</sup>) и один максимум оседания — 24 июля (69,6 шт./1 см дели).

2. Нахождение личинок в планктоне и оседание спата на субстраты прослеживались на протяжении всего периода наблюдений.

3. Плотность молодежи на верхнем горизонте была больше, чем на нижнем, как на «сменных», так и на «накопительных» субстратах (на 30,4 % и 56,4 % соответственно).

4. Личинки предпочитали оседать на «обжитые» субстраты, к ранее осевшим особям, а не на чистые «сменные».

# Морфологическая и генетическая изменчивость метацеркарий *Microphallus piriformes* (ТРЕМАТОДА, MICROPHALLIDAE) с побережий Белого и Баренцева морей

Репкин Е. А.<sup>1\*</sup>, Ласкова Е. П.<sup>1</sup>, Мальцева А. Л.<sup>1</sup>, Варфоломеева М. А.<sup>1</sup>, Михайлова Н. А.<sup>1,2</sup>, Гранович А. И.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Институт Цитологии РАН, Отдел клеточных культур

\* e-mail: erepkin53@gmail.com

## *Morphological and genetic variability of Microphallus piriformes metacercariae (Trematoda, Microphallidae) from coasts of the White and Barents Seas*

Repkin E.<sup>1</sup>, Laskova E.<sup>1</sup>, Maltseva A.<sup>1</sup>, Varfolomeeva M.<sup>1</sup>, Mikhailova N.<sup>1,2</sup>, Granovitch A.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Institute of Cytology RAS, Department of Cell Culture

Трематоды *Microphallus piriformes* широко распространены на побережьях Северной Атлантики. Для них характерен диксенный жизненный цикл, включающий промежуточных хозяев — литоральных моллюсков рода *Littorina* (Gastropoda, Littorinidae), и окончательных хозяев — чаек *Larus argentatus* (а также некоторых других птиц). На стадии метацеркарии данный вид трематод демонстрирует заметную изменчивость формы тела от одного промежуточного хозяина к другому.

Целью данного исследования был анализ внутривидового полиморфизма на генетическом и морфологическом (для метацеркарий) уровнях, а также возможного влияния на генетические и морфологические особенности таких факторов, как вид промежуточного хозяина и география обитания популяции хозяина.

Образцы клонов (клон — совокупность трематод данного вида из отдельного зараженного моллюска) для анализа были собраны из популяций, населяющих побережье Белого (Кандалакшский залив, корга у Левина наволока) и Баренцева (Варангер-фьорд, окрестности д. Киберг; Балсфьорд, окрестности г. Тромсе; окрестности пос. Дальние Зеленцы) морей в ходе экспедиций 2017–2018 гг. Материал каждого клона был использован (1) для выделения геномной ДНК и (2) для получения прижизненных изображений расправленных метацеркарий. Случаи смешанного заражения несколькими видами трематод исключали из анализа. Всего для исследования было собрано 73 образца.

Анализ вариативности формы тела проводили с использованием метода геометрической морфометрии (использовалось программное обеспечение tpsUtil и tpsDig (Stony Brook Morphometrics)), который позволяет сравнивать форму объектов, нивелируя влияние их абсолютных размеров. В анализ включили по 10 случайно выбранных метацеркарий из каждого клона. Обработку данных проводили в среде языка R.

Уровень генетического полиморфизма оценивали, используя последовательности двух молекулярных маркеров: гена 1 субъединицы цитохромоксидазы (COI) и внутреннего транскрибируемого спейсера (ITS1). Филогенетические деревья строили методом Байесовского анализа.

Полученные предварительные результаты показывают, что популяции *M. piriformes* с Белого и Баренцева морей достоверно различаются на генетическом уровне. Внутри беломорских и баренцевоморских популяций имеется тенденция к генетической подразделенности в связи с видом промежуточного хозяина (без дифференциации на морфологическом уровне). Касательно морфологической изменчивости, выявляется тенденция к раздельной ординации в морфопространстве образцов из популяций с Белого и Баренцева морей.

Данное исследование было выполнено при технической поддержке ресурсов центров Научного парка СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Обсерватория экологической безопасности».



# Использование интервальной съемки для исследования поведения и динамики численности трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* L. на нерестилищах

Савельев П. Д.<sup>1\*</sup>, Генельт-Яновский Е. А.<sup>2</sup>, Рогожкина С. П.<sup>3</sup>, Иванов М. В.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Зоологический Институт РАН, лаборатория териологии

<sup>3</sup> Санкт-Петербургская Государственная Академия Ветеринарной Медицины, кафедра аквакультуры и болезней рыб

\* e-mail: ananasovnet11@gmail.com

## *Remote time-lapse photography as a tool for the study of nesting behaviour and abundance variations of three-spines stickleback *Gasterosteus aculeatus* L. at breeding grounds*

Savelyev P. D.<sup>1</sup>, Genelt-Yanovskiy E. A.<sup>2</sup>, Rogozhkina S. P.<sup>3</sup>, Ivanov M. V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of ichthyology and hydrobiology

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of theriology

<sup>3</sup> Saint Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, Department of Aquaculture and Fish Diseases

Исследование долговременных колебаний обилия и структуры популяции трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* в Белом море проводится регулярно в течение последних 10 лет во время сезонного захода рыб на нерестовые участки в прибрежной зоне (Ivanova et al., 2016). Применение цифровых видеокамер, ведущих непрерывную или интервальную съемку, открывает новые возможности для исследователей рыбных сообществ, позволяя не только оценивать динамику численности видов на конкретном участке акватории, но и изучать поведение особей. Целью данной работы является разработка методов анализа поведения рыб и кратковременных изменений обилия трехиглой колюшки на нерестилищах. В ходе данного исследования мы пытались решить следующие задачи: (1) описание динамики численности, вертикального распределения в толще воды и основного направления движения особей *G. aculeatus* на нерестилищах в течение приливно-отливного цикла; (2) оценка половой структуры рыб; (3) описание гнездового поведения самцов на различных типах нерестилищ и отслеживание продолжительности существования отдельных гнезд.

В июне 2018 года нами была проведена серия экспериментов по установке камер интервальной съемки Brinno TLC200Pro на трех типичных для *G. aculeatus* нерестовых участках в губе Чупа — губе Сельдяной, проливе Сухая Салма, а также полуизолированной лагуне Колюшковая, примыкающей к Сухой Салме. Камеры устанавливались в водонепроницаемых боксах, закрепленных на опоре, вбитой в грунт, на плоту или непосредственно на дне. Эксперименты различались по времени интервала съемки и направлению объектива камеры. Суммарное время экспозиции камер в Сухой Салме составило 324 часа. Подсчет, измерение и определение направления движения особей *G. aculeatus* проводили в программе ImageJ (Schneider et al., 2012). Поскольку средний размер особей *G. aculeatus*, приходящих на нерест, составляет 55 мм, измерение длины рыб, попадающих в поле зрения камеры, позволяет проводить оценку расстояния от матрицы камеры до рыбы.

Предварительный анализ использования камер показал возможность оценивать динамику численности рыб за длительные временные промежутки, превышающие один приливо-отливный цикл. Наиболее удобным для учета численности колюшек оказалось установка камер на дно с направлением съемки вертикально вверх. Такое размещение камер также позволяет оценивать половую структуру *G. aculeatus* на нерестилищах. В зарослях взморника *Zostera marina*, наиболее благоприятном для нереста колюшек биотопе, практически невозможно обнаружить гнездо и установить за ним видеонаблюдение. Для решения этой задачи требуется работать в биотопах с сильно разреженной растительностью. Наша предварительная работа показывает перспективность использования подводной съемки для изучения поведения и динамики беломорских прибрежных рыб.

Исследование поддержано 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 Учебно-научной базы «Беломорская» СПбГУ за возможность круглогодичной научной работы на Белом море.

## Локализация бактерий-симбионтов у погонофор *SIBOGLINUM FIORDICUM* и *OLIGOBRACHIA HAAKONMOSBIENSIS* (SIBOGLINIDAE): все же в эндодерме или мезодерме?

Свавилная А. А.\*, Римская-Корсакова Н. Н.

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

\* e-mail: anastasia.svavilnaya@gmail.com

### *Localization of the symbiotic bacteria in *Siboglinum fiordicum* and *Oligobrachia haakonmosbiensis* (Siboglinidae) pogonophores: in the endoderm or mesoderm?*

*Svavilnaya A. A., Rimskaya-Korsakova N. N.*

Lomonosov Moscow State University, Biological Faculty, Department of Invertebrate Zoology

Симбиотические отношения являются движущей силой экологической функции и эволюции жизни на Земле. Мутуализм имеет фундаментальное значение во всех экосистемах. Однако понимание молекулярных механизмов и внутренних структур, характеризующих эти отношения, является сложно достижимым, потому что каждое симбиотическое бактериальное сообщество невероятно уникально и разнообразно. К счастью, было обнаружено, что многие морские беспозвоночные участвуют в ассоциациях с несколькими видами симбиотических микроорганизмов, поэтому эти животные могут послужить объектом исследования данных взаимоотношений.

Зибоглиниды — это семейство морских червей, зависящих от эндосимбиотических бактерий. В настоящее время выделяют четыре группы, входящие в это семейство: Frenulata, Monilifera с представителями из рода *Sclerolinum*, Vestimentifera и род *Osedax*. Первый хемоавтотрофный симбиоз между бактериями и беспозвоночными был описан для глубоководного червя *Riftia pachyptila* (Vestimentifera).

Взрослые особи этих червей лишены рта, кишечника и ануса, вместо этого они имеют специализированный орган для хранения бактерий-симбионтов. Этот орган называется трофосомой и у большинства червей располагается в задней части тела. Он заменяет пищеварительную систему червей и пронизан сосудами кровеносной системы для облегчения транспорта питательных веществ к эндосимбионтам и от них. Трофосома состоит из специализированных клеток бактериоцитов, в которых располагаются эндосимбионты. Несколько слоев бактериоцитов придают цилиндрическую форму трофосоме, которая чаще всего имеет полость.

На данный момент описано два варианта образования клеток трофосомы: у некоторых представителей группы Siboglinidae, в том числе у *Sclerolinum*, бактериоциты трофосомы имеют энтодермальное происхождение, а у вестиментифер и у представителей уникального рода *Osedax* они образованы из мезодермы. Считается, что если бактериоциты образованы из эктодермы, то полость внутри трофосомы является просветом рудиментарной кишки, однако в случае мезодермального происхождения эта полость будет целомом.

На данный момент нами получены и проанализированы первые фотографии ультраструктуры трофосом *Siboglinum fiordicum* и *Oligobrachia haakonmosbiensis* (Siboglinidae). Дальнейшее изучение тонкого строения трофосом всех зибоглинид поможет решить вопрос о возникновении данного эндосимбиоза у погонофор, также позволит обсудить, являются ли эти органы гомологичными, и выдвинуть гипотезу об организации общего предка зибоглинид.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ №18-14-00141.

## «Плазмодий» ортонектид — что это?..

Скалон Е. К. \*, Слюсарев Г. С.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных

\* e-mail: e\_skalon@list.ru

### *The “plasmodium” of orthonectids — what is it?..*

*Skalon E., Slyusarev G.*

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology

Orthonectida Giard, 1877 — небольшая группа морских беспозвоночных животных, близких к Annelida. Ортонектиды паразитируют у немертин, турбеллярий, моллюсков и некоторых других организмов. Несмотря на длительную историю изучения, в биологии ортонектид до сих пор остаются белые пятна. В частности, интерес представляет паразитическая стадия ортонектид, исторически именуемая «плазмодием» (Metschnikoff, 1881). Мнения исследователей относительно образования паразитической стадии расходятся. Некоторые считают, что инфекционная личинка ортонектид вызывает гипертрофию клеток хозяина, и эмбрионы затем развиваются в полученном «матриксе» (Kozloff, 1994, 1997). Другие полагают, что в тканях хозяина личинка ортонектид преобразуется в самостоятельный организм (Caullery and Lavalley, 1912; Slyusarev and Miller, 1998).

Нашей целью является выяснение природы паразитической стадии ортонектид. Объектом изучения выбраны ортонектиды вида *Intoshia linei*, паразиты немертин *Lineus ruber*. «Плазмодий» был исследован методами конфокальной и электронной микроскопии.

Участки «плазмодия» визуальнo не отличимы от тканей хозяина и отделены от них двойной мембраной. В цитоплазме «плазмодия» встречаются многочисленные пузырьки ЭПР, диктиосомы аппарата Гольджи, митохондрии и ядра. Кроме органелл в «плазмодии» присутствуют отдельные клетки, также окруженные двойной мембраной, эмбрионы ортонектид на разных стадиях развития и уже сформированные половые особи.

Мы предлагаем возможный сценарий образования паразитической стадии ортонектид. После внедрения личинки в хозяина, клетки, находящиеся внутри нее, оказываются в тканях. Клетки делятся, образуя дуэты, каждый из которых даст «плазмодий». Одна из клеток дуэта обрастает другую. Цитоплазма внешней клетки — это будущее цитоплазматическое тело «плазмодия», в котором будут делиться ядра. Внутренняя клетка — это будущая генеративная клетка. Обрастание одной клетки другой объясняет наличие вокруг генеративных клеток дополнительной мембраны. В процессе роста паразитического организма генеративные клетки внутри «плазмодия» делятся, и, претерпевая дробление, дают начало эмбрионам; делятся и ядра «плазмодия», обеспечивающие его жизнедеятельность. Эмбрионы развиваются в половых особей ортонектид, которые покинут хозяина и выйдут для размножения во внешнюю среду.

Для окончательного решения вопроса природы «плазмодия» ортонектид необходимы экспериментальные исследования. Однако на основании морфологических данных можно утверждать, что паразитическая стадия ортонектид — это особый организм специфического генеза.

Термин «плазмодий» не может считаться строго определенным. Цитоплазматическое тело, содержащее многочисленные ядра, в зависимости от его происхождения называется «синцитий» или «плазмодий». Синцитий образуется слиянием клеток. Плазмодий образуется за счет делений ядер и нерасхождения клеток. «Плазмодий» ортонектид содержит многочисленные ядра и клетки, дробление клеток приводит к формированию внутри цитоплазматического тела самцов и самок ортонектид. Подобная структура не встречается у других билатерий. С нашей точки зрения применение названия «плазмодий» некорректно по отношению к «плазмодию» ортонектид. Термин «матрикс», предложенный Козловым, является преокупированным и не может быть употребим. На данном этапе мы не считаем возможным предложить другой термин и предлагаем использовать словосочетание — «плазмодий ортонектид».

Проект выполнен на базе РЦ СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и РЦ СПбГУ «Ресурсный центр микроскопии и микроанализа» при поддержке гранта РФФИ 16-04-00782.

## Питание беломорской сельди (*CLUPEA PALLASII MARISALBI*) в прибрежной зоне в летний период в Кандалакшском заливе Белого моря

Смирнова К. А.\*, Бахвалова А. Е., Полякова Н. В., Иванова Т. С., Иванов М. В., Лайус Д. Л.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра гидробиологии и ихтиологии

\* e-mail: katzoukimail@gmail.com

### *Feeding of the White Sea herring (Clupea pallasii marisalbi) in inshore zone during summer period in the Kandalaksha Bay, White sea*

Smirnova K. A., Bakhvalova A. E., Polyakova N. V., Ivanova T. S., Ivanov M. V., Lajus D. L.

Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology

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, образуя вместе с трехиглой колюшкой так называемую «осиную талию» экосистемы, через которую происходит передача энергии с низших трофических уровней на более высокие.

Материал для данной работы был собран в летний период 2017 и 2018 гг. на Учебно-научной базе СПбГУ «Беломорская». Сельдь была поймана, в основном, в губе Сельдяная и в лагуне Колюшковая в июне и в августе 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. Также в июне было взято 9 проб зоопланктона по стандартной методике, путем процеживания 100 л воды с поверхности через сеть Апштейна с последующей фиксацией 40 % раствором формальдегида. Сборы проводили в прибрежной части губы Сельдяная, лагуны Колюшковая и пролива Сухая Салма — трех местообитаниях сельди разной степени изоляции от моря, отличающихся температурным, соленостным и гидродинамическим режимом. Все организмы определены до наименьшего возможного таксона и посчитаны.

Зоопланктон был представлен 25 таксонами, являющимися типичными обитателями побережья. Большую их часть составляют Copepoda. Также отмечены представители отряда Cladocera, личинки моллюсков классов Gastropoda и Bivalvia, коловратки, инфузории *Helicostomella subulata*. В желудках сельди был обнаружен 21 таксон организмов, некоторые из которых не были отмечены в наших пробах зоопланктона. Желудки многих особей были заполнены исключительно мальками колюшки, эуфазиевыми рачками *Thysanoessa inermis* или копеподами *Temora longicornis*. При этом плотность этих организмов в местах сбора проб была невысока, что говорит о том, что при возможности сельдь предпочитала эти объекты питания другим. По массе преобладали мальки колюшки, которые составили 44 % общей массы пищевых комков. На втором месте были эуфазиевые раки *Th. inermis*, составившие 38 %. Также значительный вклад внесли полихеты и гиперииды, составившие 9 % и 2 % массы, в то время как веслоногие раки составили меньше 1 % общей массы. Оставшиеся 7 % составили представители прочих таксонов, таких как Caprellidae. Часть организмов из желудков сельди, пойманной в прибрежье, является формами, обычно обитающими вдали от берегов или на глубине, например *Th. inermis*, *Calanus glacialis*, представители семейств Caprellidae и Hyperiididae. Это показывает, что сельдь — подвижная рыба, и место ее поимки может быть удалено от места ее питания.

Данная работа поддержана 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 исследований на Белом море.

# Особенности распределения температуры воды в губе Кереть летом 2018 года

Травкин В. С.\*, Мамаджанян А. Г.

Санкт-Петербургский государственный университет, направление «Гидрометеорология», профиль «Океанология»

\* e-mail: st055372@student.spbu.ru

## *Features of the distribution of water temperature in the Keret Bay in the summer of 2018*

*Travkin V., Mamadzhanian A.*

Saint Petersburg State University, Hydrometeorology, profile "Oceanology"

Летний сезон 2018 года запомнился многим аномально жаркой погодой на Северо-западе России. В районе Учебно-научной базы «Беломорская» СПбГУ также были зафиксированы высокие показатели для данного региона. Отклонение температуры от нормы может значительно повлиять на жизнедеятельность всех живых существ и на их биотоп, поэтому целью нашей работы стал анализ температуры воды в губе Кереть и установление дальнейшей связи между температурой воды в данный период с аномально жаркой погодой. Также мы проанализировали распределение солёности и желтого вещества как важнейших характеристик воды.

В периоды с 12 июня по 6 июля и с 23 июля по 11 августа 2018 года на УНБ «Беломорская» проходила учебная практика у студентов СПбГУ профиля «Океанология» 2 курса, и производственная практика 3 курса соответственно. За это время студентами и преподавателями был проведен ряд работ, результаты которых приведены в этой работе. На схеме станций проведенных работ (Рис. 1) обозначено местоположение: А — полусуточной станции в губе Кереть (06.08.2018), Б — полусуточной станции в проливе Подпахта (30.06.2018), В — суточной станции в проливе Средняя Салма (20.06.2018–21.06.2018), красными флажками 1–5 — разрез в проливе Средняя Салма (28.06.2018); на батиметрической карте изображено расположение станций площадной съемки губы Кереть (05.08.2018). Данные по температуре и солёности были получены зондом CTD-2002, концентрация растворенного желтого вещества в губе Кереть определялась спектрофотометром «UNICO-1200» и калибровочным графиком (через определение оптической плотности растворов).

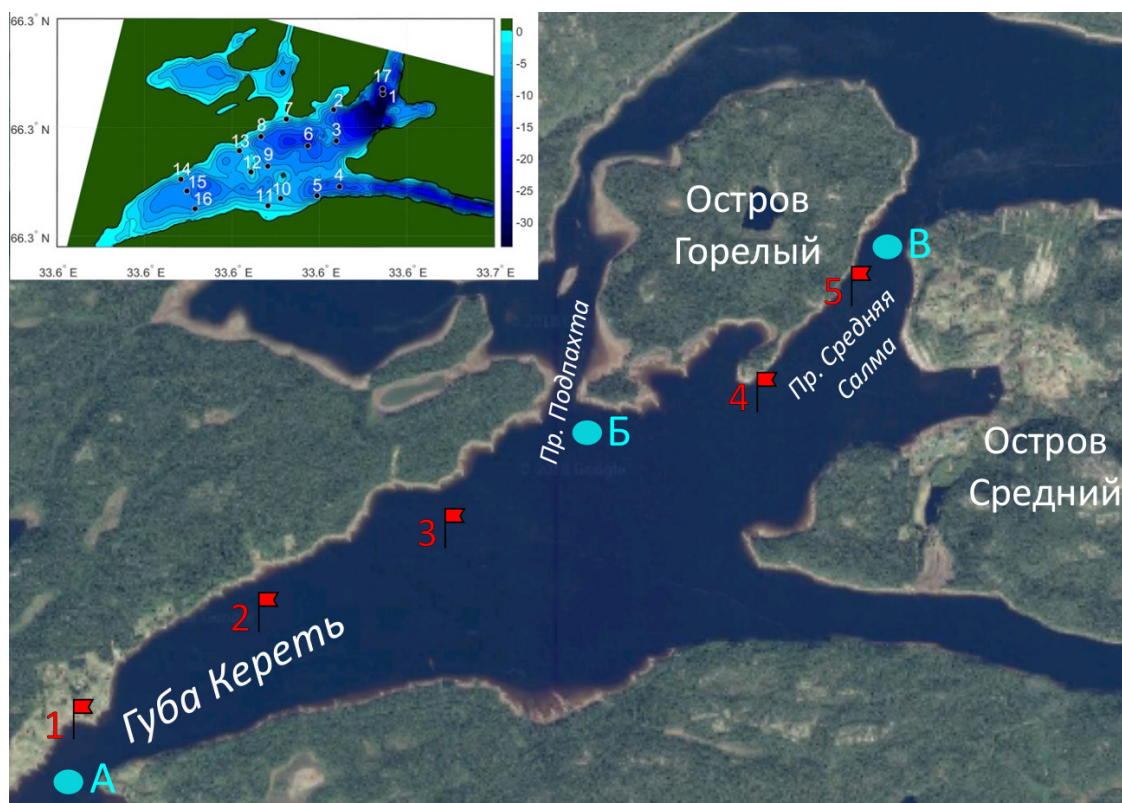


Рис 1. Схема станций

Данные по температуре воздуха в период с 1 июня 2018 года по 31 августа 2018 года в селе Ковда (Мурманская область), расположенного в 70 км от поселка городского типа Чупа, с дискретностью 3 часа приведены по [rp5.ru](http://rp5.ru). Все данные в работе были проанализированы с помощью программы MATLAB ([www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)).

По значениям температуры воздуха в районе все лето 2018 года можно разделить на четыре периода. Среднее значение температуры воздуха в первой половине июня составило 8,0 °С. Для второй половины июня этот показатель повысился до 13,5 °С. Третий период — весь июль — характеризуется явным положительным трендом температуры воздуха, которая достигла максимальной отметки за все летние месяцы — 33,6 °С, а среднее значение в июле составляло 18,4 °С. В августе тренд температуры воздуха был отрицательным, и температура воздуха опустилась от максимальной, равной 31,6 °С, до минимальной 6,6 °С, при этом среднее значение составило 15,3 °С.

Изменение температуры воздуха подтверждается наблюдаемыми измерениями температуры воды в поверхностном слое; так, температура воды на глубине до 2 метров в начале августа в губе Кереть была на 5–7 °С выше, чем в начале июня, при этом разница температур с глубиной увеличивается.

# Тканеспецифичность белка p48 из морулярных клеток *STYELA RUSTICA* и наличие его гомологов у других видов асцидий Белого и Японского морей

Тылец М. И.<sup>1\*</sup>, Даугавет М. А.<sup>2</sup>, Шапошникова Т. Г.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Институт Цитологии РАН, группа некодирующей ДНК

\* e-mail: masana97@yandex.ru

## *Tissue specificity of p48 protein from Styela rustica morula cells and the presence of its homologues in other ascidian species of the White and Japanese Seas*

Tylets M.<sup>1</sup>, Daugavet M.<sup>2</sup>, Shaposhnikova T.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Institute of Cytology RAS, group of uncoding DNA

Оболочники (Tunicata) находятся на эволюционном дереве у основания ветви хордовых. Оболочникам присущи необычные для хордовых черты организации, такие как переход многих представителей этого подтипа к сидячему образу жизни, наличие хорды и нервной трубки только на личиночной стадии. Представители этого подтипа населяют морские сообщества, являясь бентосными или свободноплавающими организмами.

Асцидии — самый большой класс оболочников. Туника асцидий сформирована внеклеточным матриксом. В ее образовании у взрослых асцидий участвуют клетки покровного эпителия и один из типов клеток крови — морулярные, которые по численности составляют 40–50 % от общей популяции клеток крови. У асцидии *Styela rustica* морулярные клетки содержат два мажорных белка, одним из которых является белок с молекулярной массой 48 кДа, p48. Поскольку морулярные клетки участвуют в задубливании туники фенолоксидазной системой, мы предполагаем, что белок p48 вовлечен в этот процесс. Для проверки этой гипотезы в рамках данной работы определяли локализацию белка p48 или его гомологов у других видов в тканях асцидий.

Объектами изучения стали асцидии четырех видов, обитающих в Белом море: *Styela rustica*, *Styela coriacea* (сем. Styelidae), *Molgula citrina* (сем. Molgulidae), *Boltenia echinata* (сем. Pyuridae), и одного вида Японского моря: *Halocynthia aurantium*. Для определения локализации белка p48 и его гомологов у других видов, в морской свинке была получена сыворотка поликлональных антител к белку p48 асцидии *Styela rustica* (GPαP48Sr). Специфичность антител проверяли с помощью иммуноблотинга после разделения белков фракций клеток крови, полученных с использованием плотностного градиента Перколла. Для определения локализации белка p48 или его гомологов на срезах тканей асцидий использовали метод непрямого иммуномечения.

Антитела на иммуноблоте избирательно взаимодействуют с белком p48 из фракции морулярных клеток. На парафиновых срезах антитела взаимодействуют с морулярными клетками крови асцидий *Styela rustica*, *Styela coriacea*, *Halocynthia aurantium*, тестальными клетками асцидий *Styela rustica*, *Styela coriacea*, *Boltenia echinata* и компонентами туники у всех исследованных видов.

Полученные результаты дают возможность сделать предположения о природе и функциях белка p48. Белок p48 выявляется как в морулярных клетках, основная деятельность которых связана с работой фенолоксидазной системы, так и в тунике. Это свидетельствует в пользу того, что p48 является компонентом фенолоксидазной системы. Иммуномечение как морулярных, так и тестальных клеток позволяет предположить наличие у тестальных клеток сходной функции — участия в формировании туники на личиночной стадии, когда морулярные клетки в ней еще отсутствуют. Связывание антител с одинаковыми структурами у нескольких изученных представителей разных семейств отряда Stolidobranchia дает возможность предполагать наличие гомолога p48 у асцидий *Styela coriacea*, *Molgula citrina*, *Boltenia echinata*, *Halocynthia aurantium* и схожесть механизмов его участия в процессах формирования туники.

Проект выполнен при поддержке РФФИ (грант 15-04-06008а).

## Трематоды семейства FelloDISTOMIDAE Белого моря: жизненные циклы и морфология

Урядова А. А.\*, Крупенко Д. Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных

\* e-mail: sashaur@gmail.com

### *Trematodes of the family Fellodistomidae in the White Sea: life cycles and morphology*

Uryadova A., Krupenko D.

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology

Трематоды семейства Fellodistomidae характеризуются двуххозяинными или треххозяинными жизненными циклами. В роли их первого промежуточного хозяина выступают двустворчатые моллюски сем. Nuculidae, Nuculanidae и Mytilidae. Мариты паразитируют в пищеварительной системе морских рыб. В триксенных жизненных циклах в качестве второго промежуточного хозяина могут выступать различные беспозвоночные: полихеты, гребневики, гидромедузы, щетинкочелюстные. В двуххозяинных жизненных циклах церкарии, покидая моллюска, не инцистируются и заражают окончательного хозяина перорально, используя стратегию подражания добыче — благодаря наличию макроцеркных хвостов. Характер трансмиссии позволяет предположить, что двуххозяинные циклы феллодистомид первичны и не являются производными от треххозяинного цикла. В связи с этим интересно сравнивать особенности строения и поведения церкарий феллодистомид у видов с разной структурой жизненного цикла.

В Белом море известны мариты двух видов сем. Fellodistomidae: *Fellodistomum fellis* (Olsson, 1868) Nicoll, 1909 (из желчного пузыря зубатки) и *Steringophorus furciger* (Olsson, 1867) Odhner, 1905 (из кишечника камбаловых рыб). Относительно жизненного цикла *S. furciger* известно, что первыми промежуточными хозяевами являются *Nuculana minuta* и *N. pernula* (Чубрик, 1966; Køie, 1979, 1983). Окончательный хозяин заражается, поедая плавающих церкарий. Долгое время предполагалось, что для *F. fellis* характерен треххозяинный жизненный цикл, где в качестве первого промежуточного хозяина выступает двустворчатый моллюск *Ennucula tenuis* (Køie, 1980), а второго — *Ophiura sarsi*. Однако дальнейшие исследования дали основание полагать, что этот цикл принадлежит другому виду этого же семейства — *Steringotrema ovacatum* (Køie, Thulin, 1994). Позднее появились сведения, что маритами *Fellodistomum fellis* в зубатке становятся метцеркарии из желудка *Vuccinum undatum*. Поэтому можно считать, что цикл *F. fellis* триксенный, хотя первый промежуточный хозяин для него не известен. Кроме этого, на Белом море было обнаружено еще два представителя феллодистомид, для которых неизвестны окончательные хозяева: *Cercaria megalocera* (спороцисты, церкарии) и *Metacercaria* gen. sp. (Чубрик, 1966). Таким образом, остается актуальной проблема расшифровки жизненных циклов феллодистомид Белого моря. Морфология отдельных стадий их жизненного цикла также изучена недостаточно.

Мы собирали представителей сем. Fellodistomidae в 2016–2018 годах на Белом море в районе Учебно-научной базы «Беломорская» СПбГУ. Материал был зафиксирован для последующей обработки методами гистологии, конфокальной микроскопии, иммуногистохимии, сканирующей электронной микроскопии, а также для молекулярно-генетического анализа.

Морфологию церкарий *S. furciger* мы изучали методом конфокальной микроскопии и сравнивали с данными М. Køie (1969) и Г. К. Чубрик (1966). В отношении строения пищеварительной и выделительной систем различий не было выявлено. Данные по строению половой системы были дополнены: помимо собственно гонад мы выяснили расположение их протоков (семявыносящие каналы, циррус, яйцевод, Лауреров канал, матка). Была начата реконструкция строения марит *F. fellis* по сериям гистологических срезов. Получены изображения со сканирующего электронного микроскопа для марит *F. fellis* и церкарий *S. furciger*.

Работа выполнена с использованием оборудования Ресурсного Центра микроскопии и микроанализа СПбГУ.



# Использование съемки в каналах водяного пара при анализе эволюции полярных циклонов по данным MODIS/ Terra, Aqua

Федосеева Н. В., Делиева М. Ю., Некрасова Е. В.\*

Российский государственный гидрометеорологический университет, кафедра экспериментальной физики атмосферы

\* e-mail: nek.elena.vit@yandex.ru

## *Water vapor imagery of evolution of polar cyclones with MODIS /Terra, Aqua*

*Fedoseeva N. V., Delieva M. Y., Nekrasova E. V.*

Russian State Hydrometeorological University, Department of Experimental Atmospheric Physics

Исследование полярных циклонов вызывает значительный интерес. Он обусловлен тем, что мезовихри приводят к внезапным ухудшениям погоды, вследствие чего их развитие создает опасность для прибрежной и морской деятельности. Данные спутников очень важны при проведении анализа и прогноза полярных циклонов — спутниковые изображения, благодаря глобальности и относительно высокой периодичности съемки, являются лучшим инструментом для мониторинга «арктических ураганов», по сравнению с синоптическими картами и численными моделями прогнозов погоды.

Изучение полярных циклонов в Арктике особенно актуально для российской науки, в связи с резким уменьшением в последние годы площади ледяного покрова Северного Ледовитого океана.

В ходе выполнения работы были использованы данные многозональной съемки в каналах «водяного пара» со спутников не метеорологического назначения (Terra, Aqua MODIS).

Всего было проанализировано 6 случаев эволюции полярных мезовихрей (Табл. 1).

**Таблица 1. Случаи полярных циклонов**

Даты	Местоположение	Число снимков
10–13 сентября 2015 г.	акватория Карского моря	22
11–13 апреля 2016 г.	акватория Баренцево моря	32
31 августа – 2 сентября 2009 г.	акватория моря Лаптевых	77
13–16 сентября 2017 г.	акватория Карского моря	30
12–16 октября 2014 г.	акватория Карского моря	22
11–13 марта 2017 г.	акватория Баренцево моря	25

В работе исследовались снимки облачности полярных циклонов с использованием каналов «водяного пара» 27 и 28. Канал 27 расположен в центре полосы поглощения водяного пара в дальнем инфракрасном диапазоне, где поглощение молекулами водяного пара наиболее интенсивно, и чувствителен к излучению в слое от средней до верхней тропосферы. Канал 28 расположен ближе к краю полосы поглощения водяного пара, где поглощение наименее интенсивно, и чувствителен к излучению водяного пара в слое от нижней до средней тропосферы. Соответственно, использование изображений в данных каналах позволяет исследовать влагосодержание и циркуляционные процессы в нижней и верхней тропосфере в области формирования полярных циклонов, поскольку границы между областями с разной энергетической яркостью являются границами между воздушными массами с разными влажностными и ветровыми режимами.

Цифровая обработка спутниковых изображений включала в себя следующие этапы: инверсия, радиометрическая коррекция, цветосинтезирование.

Анализ данных показал, что на начальных стадиях развития циклона в верхней и нижней тропосфере развивается циркуляция, характеризующаяся большими горизонтальными градиентами влажности вовлеченных в нее воздушных масс и формированием явно выраженного сухого ядра в центре мезовихря. Для этих стадий характерно наличие облачности верхнего яруса, которая рассеивается по мере развития циклона. При этом также наблюдается выравнивание влагосодержания воздушных масс в области атмосферного вихря.

# Анализ эволюции полярных мезовихрей по данным мультиспектральной спутниковой съемки

Федосеева Н. В.<sup>1</sup>, Ефимова Ю. В.<sup>2</sup>, Лопуха В. О.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, кафедра экспериментальной физики атмосферы

<sup>2</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, кафедра метеорологических прогнозов

\* e-mail: volopukha@yandex.ru

## *Analysis of polar lows evolution with multispectral satellite data*

*Fedoseeva N.<sup>1</sup>, Efimova Yu.<sup>2</sup>, Lopukha V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University, Department of experimental atmospheric physics

<sup>2</sup> Russian State Hydrometeorological University, Department of meteorological forecasts

Работа посвящена анализу эволюции полярных мезовихрей над морями западной части российской Арктики по данным мультиспектральной спутниковой съемки и синоптических карт, приземных и высотных, за апрель 2016 — апрель 2017 гг. Снимки полярных мезовихрей получены при помощи спектрорадиометра MODIS, установленного на борту спутников Terra и Aqua, и датчика VIIRS метеорологического спутника NPP Suomi (серия NOAA) в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн. Данные синоптических карт получены при помощи АПК Oscar.

Прикладной интерес к полярным мезовихрям, которые относятся к опасным и особо опасным явлениям погоды, объясняется их неблагоприятными воздействиями на объекты инфраструктуры нефтедобывающих платформ и морские суда. Комплексный анализ эволюции полярных циклонов по спутниковым данным направлен на повышение качества гидрометеорологического обслуживания акваторий арктических морей, которые подвержены процессам мезомасштабного циклогенеза.

По результатам анализа приземных синоптических карт выяснилось, что рассматриваемые полярные циклоны формировались в малоградиентном поле обширного циклона, при этом замкнутых изобар в районе наблюдения полярного мезовихря не обнаруживается. Для отдельного случая от 04.2016 анализ термического поля карты AT850 подтверждает определяемую по спутниковым данным стадию молодого циклона. Из-за недостаточного покрытия сетью метеорологических станций мезовихрь практически не обнаруживается в поле ветра для всей серии наблюдений. Таким образом, данные анализа синоптических карт только частично подтверждают наличие мезовихря в рассматриваемом районе.

Выполненный анализ эволюции микрофизического состава облачности полярных циклонов по данным мультиспектральной спутниковой съемки с применением предложенных методов цифровой обработки демонстрирует, что на завершающих стадиях развития мезовихря в его облачной системе преобладают конвективные формы облачности, преимущественно в жидко-капельной форме, в то время как на начальном этапе его формирования наблюдается облачность верхнего яруса состоящая, в основном, из ледяных кристаллов.

## Известковые губки: развитие из диссоциированных клеток

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

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

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, биологический факультет, Беломорская Биологическая станция им. Н. А. Перцова

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

<sup>4</sup> Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН

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

### *Calcareous sponges: the development from dissociated cells*

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

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

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

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

<sup>4</sup> Koltzov Institute of Developmental Biology RAS

Губки — наиболее древние водные многоклеточные животные, характеризующиеся особым гистологическим строением, которое обуславливает высокую пластичность и мобильность клеточных структур губок. Одной из форм проявления такой пластичности является реагрегация — способность к восстановлению из диссоциированных клеток. Целью данного исследования был анализ процесса реагрегации у представителей класса Calcarea: *Leucosolenia cf. variabilis*, *Sycon* sp., *Sycettusa murmanensis* и *Clathrina arnesenae*. Процесс реагрегации у всех исследуемых видов проходит сходным образом. Через 24 часа после диссоциации в культурах происходит формирование первичных многоклеточных агрегатов. Первичные агрегаты имеют округлую либо неправильную форму, для них характерна неплотная упаковка клеток. Через 72–96 часов в культурах происходит формирование ранних примморфов, которые имеют округлую форму с более ровной поверхностью, клетки в них упакованы плотнее, чем в первичных агрегатах. Эта стадия является заключительной в процессе реагрегации *S. murmanensis* и *C. arnesenae*.

Наблюдения за культурами *Leucosolenia cf. variabilis* и *Sycon* sp. показали, что для этих видов можно получить более прогрессивные стадии развития. Через 168 часов после диссоциации на поверхности агрегатов появляются первые спикеры, через 360 часов поверхность полностью покрывается экзопинакочитами, и начинается формирование каналов водоносной системы.

В течение всего процесса реагрегации происходят перестройки и трансдифференцировки клеток. При попадании в суспензию практически все типы клеток дедифференцируются до амебоцитов, а при трансформации первичных многоклеточных агрегатов в ранние примморфы амебоциты и хоаноциты способны претерпевать трансдифференцировку в экзопинакочиты.

Благодаря данной работе были отработаны методики получения и культивирования клеточных агрегатов из суспензий клеток губок Calcarea, также для некоторых видов были определены более оптимальные условия культивирования. В результате изучения объектов после фиксации было проведено первичное описание строения агрегатов и клеточных преобразований в процессе реагрегации.

Исследование поддержано грантом РФФ №17-14-01089.

## Биссусные прикрепления *MYTILUS EDULIS* LINNAEUS, 1758 и *M. TROSSULUS* GOULD, 1850: механизм подавления конкурента?

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

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

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

<sup>3</sup> Кандалакшский государственный заповедник

\* e-mail: polydora@rambler.ru

### *Byssus attachments by Mytilus edulis Linnaeus, 1758 and M. trossulus Gould, 1850: a mechanism of competitor smothering?*

Khaitov V. M.<sup>1,2,3</sup>, Shalageva M. V.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Laboratory of marine benthic ecology

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

В Белом море обитают два вида мидий *Mytilus edulis* и *M. trossulus*, образующие смешанные поселения, в которых *M. edulis* доминирует над *M. trossulus*. В тех случаях, когда наблюдалось обратное соотношение, в течение нескольких лет *M. trossulus* постепенно из поселений вытеснялась. Это свидетельствует о наличии между этими близкими видами конкуренции, механизмы которой неизвестны. Однако известно, что мидии могут использовать биссус не только как средство прикрепления к субстрату, но и как средство защиты, инактивирующее хищников (Petraitis, 1987). Мы предположили, что тот же механизм может работать и для инактивации конкурентов. Из этого предположения можно вывести проверяемое следствие: если такой механизм, действительно работает, то мидии одного вида должны прикреплять больше биссуса к мидиям чужого вида, чем к конспецификам. В данной работе мы провели экспериментальную проверку этого следствия. В эксперименте мидии разделялись на доноров и реципиентов. Доноры были закреплены цианакрилатным клеем на вертикально расположенных керамических пластинках, а реципиенты приклеены под ними на расстоянии около 1,5 см. Доноры выделяли биссус, который прикреплялся либо к раковинам реципиента, либо к плитке, на которой были закреплены мидии. Мы подсчитали количество биссусных нитей, прикрепленных к каждому из двух типов субстрата (плитка или раковина реципиента). После подсчета биссуса проводилась идентификация криптических видов по конхиологическому признаку (Katolikova et al. 2016), который позволяет различать два морфотипа: Е-морфотип (с высокой вероятностью *M. edulis*) и Т-морфотип (с высокой вероятностью *M. trossulus*). В качестве зависимых переменных в дальнейшем анализе выступало абсолютное количество биссусных нитей, выделенных донором, и соотношение количества нитей, прикрепленных к реципиенту и к плитке. Было показано, что доноры Т-морфотипа выделяют больше биссусных нитей, чем особи Е-морфотипа. Если донорами были мидии Т-морфотипа, то количество нитей и доля нитей, прикрепленных к реципиенту, не зависели ни от каких параметров реципиента (морфотипа или его размера). Если донором были особи Е-морфотипа, то они выделяли больше биссуса, если реципиентами были более мелкие мидии (связи абсолютного количества нитей с морфотипом реципиента не выявлено). При этом доля нитей, прикрепленных к реципиенту, была значимо выше, если реципиентом были мидии Т-морфотипа. Эти результаты говорят о том, что мидии Е-морфотипа способны распознавать свойства реципиента, реагируя на его размеры и морфотип. Мидии Т-морфотипа такими способностями не обладают.

# Транспозоны как основной предшественник миРНК в раннем эмбриональном развитии морского ежа

Челомбиткин М. А.<sup>1\*</sup>, Лебедев Е. Е.<sup>3</sup>, Адонин Л. С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный технологический институт, кафедра технологии микробиологического синтеза

<sup>2</sup> Институт Цитологии РАН, лаборатория морфологии клетки

<sup>3</sup> Дальневосточный федеральный университет

\* e-mail: mchelombitkin@gmail.com

## *Transposons as the main precursor of miRNA in the early embryonic development of the sea urchin*

Chelombitkin M. A.<sup>1</sup>, Lebedev E. E.<sup>3</sup>, Adonin L. S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Institute of Technology, Department of Technology of Microbiological Synthesis

<sup>2</sup> Institute of Cytology RAS, cell morphology laboratory

<sup>3</sup> Far Eastern Federal University

МикроРНК (miRNA) — это малые некодирующие молекулы РНК длиной до 25 н. п. (чаще 22 bp). Они описаны у животных, растений и даже некоторых вирусов. Первые микроРНК описаны в начале 1990-х годов, однако как отдельный класс биологических регуляторных молекул с определенными функциями их стали рассматривать только в начале 2000-х. К настоящему моменту известно свыше 10000 различных миРНК, и эта цифра постоянно увеличивается с улучшением методов секвенирования. Многие из них только предсказаны и ждут экспериментального подтверждения и описания. По оценкам исследователей мишенями миРНК являются около 40–50 % кодирующих белок генов человека, хотя точная оценка общего числа уникальных мРНК, являющихся мишенями миРНК, варьирует в зависимости от использованного для оценки метода. МиРНК достаточно высококонсервативны среди эукариот, и считается, что миРНК представляют собой жизненно необходимый и эволюционно древний компонент системы регуляции экспрессии генов.

Сегодня установлены многочисленные функции миРНК в негативной регуляции (транскрипционная деградация или изоляция, подавление трансляции) и возможная вовлеченность в механизмы позитивной регуляции (активация транскрипции и трансляции). Поскольку миРНК принимают участие в регуляции экспрессии генов, они оказываются вовлеченными в большую часть биологических процессов. Также известно, что нарушения в транскрипции некоторых миРНК, возникающие в раннем развитии (а иногда и в клетках взрослого организма), могут привести к серьезным последствиям. Для человека известно более 100 случаев различных заболеваний, в том числе наследственных синдромов (гемофилия, хороидермия сетчатки) и рака, причиной которых является нарушение транскрипционной активности миРНК.

Для более глубокого понимания процессов возникновения заболеваний различной этиологии, связанных с нарушением транскрипции миРНК, необходимо разобраться в процессах эпигенетической регуляции этих регуляторных молекул при нормальном развитии. Модель, которую мы используем в настоящей работе — развитие морского ежа *Strongylocentrotus purpuratus*. Модель доказала свою состоятельность, на ней сделано большое количество фундаментальных работ биологии развития. Используя *S. purpuratus* полученные результаты легче экстраполировать на человека, так как эволюционные различия между морским ежом и человеком меньше, чем человеком и *Drosophila* или *Caenorhabditis elegans*. В ходе работы нами составлена heat-map карта аннотированных в RepBase (GIRI) 284 транспозонов (TE) *S. purpuratus*. Уровень транскрипции разных TE достаточно разнороден и не подвергается кластеризации, в отличие от классических работ Давидсона по транскрипции генов (около 16000) этого морского ежа в ходе эмбрионального развития. Но при описании профиля транскрипции TE на стадиях эмбрионального развития мы описали некоторые закономерности: (1) интенсивность транскрипции различных участков TE варьируется от стадии к стадии; (2) пики профилей транскрипции совпадают с предсказанными функциональными миРНК у большинства TE пурпурного морского ежа.

Полученные в ходе настоящего исследования результаты будут использованы в дальнейшей экспериментальной работе для подтверждения гипотезы о том, что TE являются основным источником миРНК в развитии.

# Молекулярная эволюция компонентов FGF-сигналинга: первые данные о разнообразии лигандов и рецепторов у аннелид и моллюсков

Шалаева А. Ю.\*; Костюченко Р. П., Козин В. В.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра эмбриологии

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

## *Molecular evolution of FGF signaling: first data on the ligand and receptor diversity in Annelida and Mollusca*

Shalaeva A. Yu., Kostyuchenko R. P., Kozin V. V.

Saint Petersburg State University, Department of Embryology

Факторы роста фибробластов и их рецепторы широко распространены у представителей различных ветвей филогенетического древа животных, являясь одними из древних и довольно консервативных сигнальных молекул. На сегодняшний день у млекопитающих выделяют 7 подсемейств FGF, которые способны связываться с рецепторами (FGFR1–4), обладающими тирозинкиназной активностью. Запуск сигнального каскада приводит к активации внутриклеточных посредников, влияющих на фундаментальные процессы жизнедеятельности клеток, среди которых пролиферация, дифференцировка, апоптоз, а также участие в морфогенезах на ранних этапах развития и при регенерации. Несмотря на принципиальную значимость межклеточных взаимодействий, из всех сигнальных систем путь FGF остается наименее исследованным у немодельных объектов. Особенно примечательно, что для одной из трех главных ветвей Bilateria — клады Spiralia — даже отсутствует классификация сигнальных молекул FGF, а также остаются загадкой их эволюционный консерватизм и изменчивость. Целью данной работы была идентификация компонентов FGF-сигналинга у нескольких таксонов спиральных животных и установление эволюционной истории этих молекул с помощью методов биоинформатики.

Для описания репертуара FGF-лигандов у Spiralia проводился поиск в общедоступных молекулярно-генетических базах данных. По аннотациям в GenBank и UniProt к FGF отнесено всего лишь несколько генов из подсемейства FGF8/17/18 брахиопод и моллюсков. В неаннотированных транскриптомных коллекциях для нереидных полихет *Alitta virens* и *Platynereis dumerilii* было обнаружено по 2 гена-кандидата FGF, а также по 1 участку FGF-подобных последовательностей. Для представителей Spiralia с отсеквенированным геномом обнаружено большее число паралогов. У полихеты *Capitella teleta* найдено 5 уникальных последовательностей, надежно относимых к FGF8/17/18. У нереид к этому же подсемейству относятся оба найденных паралога, причем один из них формирует самую базальную ветвь кластера и, вероятно, является наиболее рано дивергировавшим представителем FGF8/17/18. Также были обнаружены два уникальных гена, кодирующие FGFR. По количественным транскриптомным данным на уровне мРНК у *P. dumerilii* до начала личиночного развития экспрессируется по одному паралогу лиганда и рецептора, что говорит о возможности функционирования FGF-сигналинга, начиная со стадий дробления и гастрюляции. Таким образом, неидентичные паттерны экспрессии у обнаруженных нами генов-паралогов свидетельствуют о разделении их функций. Весьма интересно распределение по древу 9 обнаруженных генов гастроподы *Lottia gigantea*: они присутствуют в подсемействах FGF8/17/18, FGF9/16/20, FGF1/2 и даже среди горизонтально перенесенных в геном насекомых генов *branchless*.

Наши результаты позволяют сделать вывод о преимущественно независимой эволюции FGF-лигандов, набор генов которых мог пополняться или претерпевать вторичные утраты у крупных таксонов Metazoa. Филогенетические отношения и известные функциональные данные свидетельствуют о принципиальной роли подсемейства FGF8/17/18 в эволюции морфогенетических процессов: именно эти лиганды первыми появились у книдарий и билатерий, выполняя сходные функции в эпителио-мезенхимных взаимодействиях и контроле клеточного цикла.

Работа выполнена на Учебно-научной базе «Беломорская» СПбГУ при поддержке гранта РНФ (17-14-01089).

# Влияние температуры на бесполое размножение криптических видов *AURELIA* spp. (Cnidaria, Scyphozoa) из Белого, Черного, Японского морей

Шапкина А. О.\*

Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова

\* e-mail: anya.shapkina@gmail.com

## *Effects of temperature on asexual reproduction of some cryptic species of Aurelia spp. (Cnidaria, Scyphozoa) from the White, Black and Japan Sea*

Shapkina A. O.

Lomonosov Moscow State University

Температура — один из ключевых факторов, определяющих биологические процессы в морях и океанах. Увеличение частоты вспышек численности планктонных желетелых часто связывают с изменениями температурного режима. Считается, что повышение температуры воды стимулирует как половое, так и бесполое размножение многих видов желетелых, обитающих в умеренных зонах (Purcell, 2005). Однако, с другой стороны, влияние температуры на репродукцию может отличаться даже у разных популяций одного вида (Lucas, 2001). Могут ли изменения температуры стимулировать цветения желетелых? Для ответа на этот вопрос мы экспериментально исследовали влияние температуры на бесполое размножение сцифистом *Aurelia* spp. из Белого, Черного и Японского морей.

Сцифистом предварительно культивировали в стабильных условиях при температуре 20 °С, за исключением сцифистом из Белого моря, которых культивировали при температуре 10 °С. Соленость в экспериментах поддерживали на постоянном уровне: 18 ед. для сцифистом из Черного моря, 25 ед. — для сцифистом из Белого и Японского морей. Затем температура в экспериментальных контейнерах была изменена в соответствии со схемой эксперимента. Скорость изменения температуры не превышала 5 °С/10 сут. После изменения температуры в экспериментальных контейнерах мы регистрировали репродукцию сцифистом из 3 популяций при 5 различных значениях температуры (0, 5, 10, 15, 20 °С). Мы количественно учитывали 4 типа бесполого размножения сцифистом: образование почек, образование планулоидов, образование подоцист и стробилиацию. Два раза в неделю экспериментальные стекла исследовали под стереомикроскопом, а также фотографировали. Полученные данные были проанализированы при помощи статистических методов. Сцифистомы были идентифицированы при помощи молекулярно-генетических методов с использованием митохондриальных маркеров (COI, 16S).

Интенсивность почкования для всех популяций снижалась с понижением температуры: при 20 °С она составляла от  $0,139 \pm 0,013$  почки на сцифистому в сутки для тихоокеанских до  $0,019 \pm 0,017$  почки на сцифистому в сутки для черноморских, в то время как при 0 °С у беломорских сцифистом почкование полностью прекращалось.

Формирование планулоидов также становилось менее активным с уменьшением температуры. Так, при 20 °С черноморская популяция производила  $0,043 \pm 0,042$  планулоида на сцифистому в сутки, при 0 °С это значение снизилось до  $0,017 \pm 0,012$ .

Формирование подоцист происходило наиболее интенсивно у беломорских и черноморских сцифистом при 10 °С:  $0,018 \pm 0,010$  и  $0,011 \pm 0,010$  подоцисты на сцифистому в сутки, соответственно.

Таким образом, анализ результатов показал, что при понижении температуры общая интенсивность вегетативного размножения уменьшалась для всех популяций, хотя беломорские сцифистомы наиболее интенсивно формировали новые почки при температуре 15 °С. Черноморские сцифистомы при всех температурах размножались преимущественно при помощи планулоподобных личинок, беломорские — путем почкования и отделения подоцист, япономорские примерно с одинаковой интенсивностью почковались и производили планулоподобные личинки, а тихоокеанские увеличивали свою численность, в первую очередь, за счет почкования.

## Сравнительно-анатомическое исследование сперматозоидов неофорных турбеллярий Белого моря

Шафигуллина Е. Е.\*; Заботин Я. И.

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

\* e-mail: shafigullina.ee@gmail.com

### *Comparative-anatomical investigation of spermatozoa of neoophoran turbellarians of the White Sea*

*Shafigullina E. E., Zabolotin Ya. I.*

Kazan (Volga region) Federal University, Department of Zoology and General Biology

Ультраструктурные особенности половой системы, в т. ч. половых клеток, давно зарекомендовали себя в качестве надежного критерия для выяснения филогенетических отношений внутри типа Plathelminthes. В ходе данной работы с помощью ТЭМ были изучены сперматозоиды представителей основных таксонов неофорных турбеллярий (Proseriata, Tricladida, Rhabdocoela). Свободноживущие плоские черви *Monocelis fusca* Örsted, 1843, *M. lineata* Müller O. F., 1773, *Uteriporus vulgaris* Bergendal, 1890, *Provortex karlingi* Ax, 1951, *Macrorhynchus croceus* Fabricius, 1826 были собраны в летний период на литорали и в смывах с водорослей островов Средний и Сидоров Керетского архипелага Белого моря. Особи были зафиксированы целиком в 1 % глутаровом альдегиде на 0,1 М фосфатном буфере и подготовлены для ТЭМ по стандартной схеме.

Спермии таксона Трерахонемата, к которому относятся исследуемые группы плоских червей, характеризуются следующими ультраструктурными признаками: нитевидной формой клетки, двумя жгутиками с формулой аксонем 9 + «1», вытянутым ядром с волокнистым хроматином, множеством электронно-плотных гранул и кортикальными микротрубочками.

Локомоторный аппарат сперматозоидов просериат, занимающих базальное положение среди неофор, представлен двумя свободными жгутиками. Обращают на себя внимание обнаруженные ультраструктурные различия спермиев двух близкородственных видов *M. lineata* и *M. fusca*. Многочисленные митохондрии и электронно-плотные гранулы у второго вида упорядочены в цепочку, в то время как у первого они хаотично разбросаны по цитоплазме.

Сперматозоиды морской триклаиды *U. vulgaris* имеют реорганизованный ядерный аппарат, включающий четыре волокнистых хроматиновых тяжа, одну удлиненную митохондрию и ветвящиеся жгутики. В отличие от просериат, триклаиды характеризуются консервативным планом строения мужских половых клеток.

Крайне специализированными сперматозоидами обладает прямокишечная турбеллярия *P. karlingi*. Они не имеют жгутиков, а митохондрии и электронно-плотные гранулы собраны в сложный перинуклеарный комплекс, который полукольцом охватывает ядро. Осевой каркас спермия образован кортикальными микротрубочками.

Сперматозоиды калипторинхии *Macr. croceus* имеют вытянутое ядро, параллельно которому располагается единственная вытянутая митохондрия и цепочка гранул с электронно-плотной сердцевиной. По периферии клетки располагаются кортикальные микротрубочки. Локомоторный аппарат представлен двумя инкорпорированными жгутиками.

Таким образом, для сперматозоидов Неоорфора характерно объединение клеточных включений в цепочку, уменьшение количества митохондрий путем слияния, образование сложных комплексов из митохондрий и гранул. Тенденция к реорганизации указанных органелл и гранул наблюдается уже у просериат, что, на наш взгляд, может являться предпосылкой к дальнейшему формированию единственной митохондрии и объединению включений в цепочку, что характерно для более высокоорганизованных трепаксонемат.



## Жизненный цикл трематоды *Neophasis oculata* (Levinsen, 1881) Miller, 1941 (ТРЕМАТОДА: АСАНТОКОЛПИДАЕ) на Белом море

Шишков А. Г.<sup>1\*</sup>, Кремнев Г. А.<sup>1</sup>, Крупенко Д. Ю.<sup>1</sup>, Крапивин В. А.<sup>1</sup>, Гончар А. Г.<sup>1</sup>, Смирнов П. А.<sup>1</sup>, Бакхвалова А. Е.<sup>2</sup>, Иванова Т. С.<sup>2</sup>, Иванов М. В.<sup>2</sup>

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

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

\* e-mail: shishkov1999@yandex.ru

### *Life cycle of Neophasis oculata* (Levinsen, 1881) Miller, 1941 (Trematoda: Acanthocolpidae) in the White Sea

Shishkov A.<sup>1</sup>, Kremnev G.<sup>1</sup>, Krupenko D.<sup>1</sup>, Krapivin V.<sup>1</sup>, Gonchar A.<sup>1</sup>, Smirnov P.<sup>1</sup>, Bakhvalova A.<sup>2</sup>, Ivanova T.<sup>2</sup>, Ivanov M.<sup>2</sup>

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

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

Триксенный жизненный цикл *Neophasis oculata* был описан на Баренцевом море: там в его реализации принимают участие брюхоногие моллюски *Cryptonatica affinis* (первый промежуточный хозяин), двустворчатые моллюски (второй промежуточный хозяин) и керчак *Muohoscephalus scorpius* (второй промежуточный и окончательный хозяин) (Полянский, 1955; Чубрик, 1966). В водах Белого моря из всех стадий жизненного цикла *N. oculata* ранее были обнаружены только мариты (в керчаках *M. scorpius* и *M. quadricornis*) (Шульман и Шульман-Альбова, 1953). Мы охарактеризовали спектр промежуточных и окончательных хозяев трематоды *N. oculata* на Белом море.

Рыбы и гастроподы были собраны в районе Учебно-научной базы «Беломорская» СПбГУ в период с июля по середину сентября 2018 года в пяти разных точках, двустворчатые моллюски — в летние месяцы 2009–2018 годов в семи разных точках. Всего было поймано и обследовано семь видов рыб: *M. scorpius* (25 особей), *M. quadricornis* (4 особи), *Gymnocanthus tricuspis* (2 особи), *Anarichas lupus* (7 особей), *Zoarces viviparus* (1 особь), *Cyclopterus lumpus* (1 особь) и *Gadus morhua* (3 особи); два вида гастропод семейства Naticidae: *Cryptonatica affinis* (87 особей) и *Euspira pallida* (48 особей); 27 видов двустворчатых моллюсков.

Редии и церкарии *N. oculata* были обнаружены только в гастроподе *Cryptonatica affinis* (одна из пяти точек; 3 из 87 особей заражены). Метацеркарии *N. oculata* были найдены в плавниках рыб *M. scorpius* (все пять точек; 12 из 12 особей заражены), *M. quadricornis* (одна из пяти точек; 1 из 2 особей заражены), *G. tricuspis* (одна из пяти точек; 1 из 2 особей заражены) и *A. lupus* (одна из пяти точек; 1 из 5 особей заражены). Интенсивность инвазии рыб составляла 1–89 особей паразита. Также метацеркарии *N. oculata* были найдены во внутренностном мешке двустворчатых моллюсков *Ciliatocardium ciliatum* (пять из семи точек; 7 из 27 особей заражены), *Serripes groenlandicus* (пять из семи точек; 12 из 73 особей заражены) и *Arctica islandica* (пять из семи точек; 14 из 131 особи заражены). Интенсивность инвазии двустворчатых моллюсков составляла 1–492 особей паразита. Мариты *N. oculata* были найдены только в пилорических придатках керчаков *M. scorpius* (две из семи точек; 5 из 25 особей заражены). Интенсивность инвазии керчаков составляла 1–13 особей паразита.

Мы предполагаем, что основным вторым промежуточным и окончательным хозяином *N. oculata* на Белом море является керчак *M. scorpius*. Остается неизвестным, созревают ли метацеркарии паразита в двустворчатых моллюсках до инвазионного состояния. Для проверки этого предположения нужно провести экспериментальное заражение окончательного хозяина, оценить спектр питания керчака в точках сбора материала и сопоставить отдельные стадии жизненного цикла с использованием молекулярно-генетических маркеров.

## Таксономия полихет рода *Eteone* (Phyllodocidae)

Эверетт М. У.\*

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

\* e-mail: marfa.everett@yandex.ru

### *The Polychaeta taxonomy of the genus Eteone (Phyllodocidae)*

Everett M.

Lomonosov Moscow State University, Biological faculty, Department of Invertebrate Zoology

Полихеты рода *Eteone*, Savigny, 1820 (Phyllodocidae) — обычные члены бентосных сообществ литорали и сублиторали северных морей. До сих пор эта группа остается проблемной и нуждается в детальной ревизии, поскольку небольшое количество внешних морфологических признаков делает их очень трудными для определения. В настоящее время описано около 32 видов рода *Eteone*.

Проведено подробное исследование таксономического разнообразия рода *Eteone* с применением морфологических и молекулярно-генетических методов, используя материал из следующих местообитаний: Белое море (27 образцов), Охотское море (5 образцов), Баренцево море (19 образцов), Норвежское море (8 образцов), Северное море (20 образцов), Гренландское море (29 образцов) и Западное побережье Африки (17 образцов).

Результаты филогенетического анализа по ядерным генам 18S, 28S, H3 и ITS1 и митохондриальным генам CO1 и 16S показали, что в Белом море обнаруживаются 6 групп *Eteone*. Из них две чисто беломорские группы, одна группа из Белого и Баренцева моря, одна из Белого моря и Гренландского моря (о. Шпицберген), одна из Белого моря и Гудзонова залива (материал из Genbank) и одна группа из Белого, Северного, Баренцева и Гренландского морей.

Также в исследованном материале удалось выделить одну группу для Норвежского моря, одну группу для Охотского моря, две группы для Северного моря. Из западного побережья Африки было обнаружено три группы.

В ходе морфологического исследования материала из Белого моря было выявлено пять групп, которые различаются по форме простомиума, форме параподий и спинных и брюшных усиков и строению глотки.

Таким образом, результаты показывают, что род *Eteone* нуждается в ревизии.

## Связаны ли механизмы репродуктивной изоляции каляноидных копепод *CALANUS GLACIALIS* и *C. FINMARCHICUS* со строением генитальных структур взрослых самок?

Юрикова Д. А.\*

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, кафедра зоологии беспозвоночных

\* e-mail: dariayurikova@gmail.com

*Is there a correlation between the mechanisms of reproductive isolation and the morphology of adult females' genital structures in calanoid copepods *Calanus glacialis* and *C. finmarchicus*?*

*Yurikova D.*

Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology

Массовыми представителями каляноидных копепод в планктоне северной части Атлантического и Северного Ледовитого океана являются *Calanus finmarchicus* и *C. glacialis*, виды, сходные морфологически, но различающиеся по жизненным циклам и районам распространения. *C. glacialis* — арктический вид, завершающий жизненный цикл в течение двух лет. *C. finmarchicus* — северо-атлантический вид, для которого характерен однолетний цикл. Рядом исследователей на основании молекулярно-генетических данных была высказана гипотеза о возможности их гибридизации, опровергнутая в скором времени также на основании молекулярных исследований.

Целью работы являлось изучение особенностей строения репродуктивной системы самок *C. glacialis* и *C. finmarchicus* для выявления морфологических различий, подходящих для достоверной идентификации этих видов. В задачи работы входило исследование внешнего и внутреннего строения генитального сегмента и генитальных полей взрослых самок, сравнение биологии и жизненных циклов по литературным данным и выявление возможных причин отсутствия гибридизации между этими сходными по морфологии видами. Материал был собран в Белом и Норвежском морях. Для визуализации структур, относящихся к половой системе, были применены методы световой, сканирующей электронной и конфокальной лазерной сканирующей микроскопии, а также компьютерной микротомографии.

Нами были подробно изучены следующие структуры: генитальная крышечка, прикрывающая половой атриум, на дне которого располагаются каналы сперматек; щелевидные копуляторные поры, ведущие в сперматеки; пучки мышц, участвующие в переносе сперматофорной массы в сперматеки. Выявленные различия во внешнем строении генитального сегмента самок и характере прикрепления сперматофоров у исследованных видов оказались не существенны, по нашему мнению, они не могут служить препятствием для перекрестного спаривания или использоваться в качестве надежного критерия определения вида. Особенности морфологии генитального сегмента также не могут применяться в качестве самостоятельного критерия для различения *C. glacialis* и *C. finmarchicus*, но они могут быть использованы в качестве дополнительных признаков для подкрепления выводов, сделанных с использованием других морфологических критериев или по совокупности признаков. Возможно, эволюционное расхождение исследованных видов связано с развитием у них различных приспособлений к условиям среды и возникновением различий в их биологии, фенологии и жизненных циклах.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ № 18-35-00341.*

## Влияние температуры воды на дифференцировку пола у молоди симы *ONCORHYNCHUS MASU*

Юрчак М. И.<sup>1\*</sup>, Мякишев М. С.<sup>2</sup>, Зеленников О. В.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Сахалинский филиал ФГБУ «Главрыбвод»

\* e-mail: maur4ak2014@ya.ru

### *Influence of temperature on sex difference of juvenils of *Oncorhynchus masu**

*Yurchak M. I.<sup>1</sup>, Myakishev M. S.<sup>2</sup>, Zelennikov O. V.<sup>1</sup>*

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

<sup>2</sup> FSFI «Glavrybvod»

Тихоокеанский лосось сима, в отличие от других видов своего рода, заходит в реки задолго до нереста, не имея «брачной окраски», активно питается в реке и в связи с этими особенностями является самым популярным объектом любительского и спортивного лова в Сахалинской области.

Гаметогенез этого вида изучен фрагментарно, при этом данные о развитии гонад у молоди при ее выращивании на рыбоводных заводах нам не известны. Цель нашей работы — исследовать гаметогенез у самок и самцов симы в течение полного рыбоводного цикла на одном из самых холодноводных и самом тепловодном рыбоводном заводе в Сахалинской области. Для выполнения этой цели мы поставили эксперимент, в ходе которого икру симы 2 сентября 2016 года заложили на инкубацию на Анивском заводе, на котором температура воды в зимние месяцы опускается ниже 0,5 °С. Незадолго до вылупления зародышей — 17 октября, часть икры перевезли на Охотский завод, на котором зимой температура воды не опускается ниже 6 °С. При таких температурных условиях молодь симы выращивали еще в течение 9 месяцев, после чего 12 июля выпустили в естественную среду. Два раза в месяц рыб измеряли, взвешивали, а также фиксировали (по 50 шт.) в растворах Серра или Буэна, для последующего гистоморфологического исследования.

Темп роста молоди симы при двух температурных режимах существенно различался. На холодноводном Анивском заводе мальков начали кормить 3 мая 2017 года и вырастили до массы в среднем 1,59 г (от 0,90 до 2,43 г). В отличие от этого на тепловодном заводе мальков начали кормить уже 9 января, на 4 месяца раньше и вырастили до 5,67 г (от 2,40 до 11,35 г). Повышенная температура воды ускорила и развитие репродуктивной системы, как у самок, так и у самцов. На Анивском заводе дифференцировка пола произошла к 31 января, а ооциты периода превителлогенеза в яичниках выявили к 30 мая, т. е. к возрасту около 150 и 270 суток. При более высокой температуре на Охотском заводе эти этапы в развитии яичников выявили в возрасте около 120 и 150 суток соответственно. К моменту выпуска на обоих заводах у самок уже была сформирована единственная генерация ооцитов периода превителлогенеза; при повышенной температуре в семенниках характерных для симы карликовых самцов начались мейотические деления.

## Гидрология полуизолированного морского водоема в летний период (на примере «лагуны» в проливе Сухая Салма Белого моря)

Яковлева Д. А. \*, Кузнецова Д. А., Смагин Р. Е.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра океанологии

\* e-mail: dianayak47@mail.ru

### *Hydrology of a land semi-locked body of water in summer (on the example of the «lagoon» in the Suhaya Salma strait of the White Sea)*

*Iakovleva D., Kuznetsova D., Smagin R.*

Saint Petersburg State University, Department of Oceanology

Пролив Сухая Салма представляет собой полуизолированную акваторию, где наиболее примечателен закрытый от моря островком и каменистыми перемычками залив («лагуна»), в котором водообмен с открытой акваторией Белого моря осуществляется сложным образом. Изучение гидрологии данного района представляет интерес в связи с изменчивостью структуры вод в различные периоды лета и миграциями живых организмов. Кроме того, в данном водоеме происходит нерест колюшки трехиглой, популяция которой может служить своеобразным маркером экосистемы Белого моря.

Изучение гидрологии пролива Сухая Салма проводилось в течение двух лет (июнь 2017 г. и июнь–июль 2018 г.). Измеренные колебания уровня в июне 2017 г. в фазу сизигии имеют высокие значения амплитуды (42 см) по сравнению с амплитудами июня и июля 2018 г. (1 и 2 см) в промежуток с квадратуры на сизигию. Температура вод верхнего слоя в июне 2017 г. ниже (12–13 °С), чем в июне и июле 2018 г. (18 и 25–26 °С), что обусловлено прогревом в результате поступления солнечной радиации, а из-за небольших глубин (~ 4 м) водная толща может хорошо прогреться до дна. Значения солености верхнего слоя в 2018 г. выше (23–24 PSU), чем в 2017 г. (около 18 PSU), что объясняется, возможно, большим испарением, а также особенностями водообмена. В промежуток с квадратуры на сизигию уровень моря в «лагунах» практически не меняется, тем самым прогретые соленые воды остаются внутри «лагуны». Во время сизигии в фазу прилива в «лагуны» поступают более холодные и распресненные воды, при этом уровень моря несколько возрастает.

Насыщенность и содержание растворенного кислорода в водах пролива Сухая Салма в 2018 г. имеют схожий ход изолиний и общую тенденцию увеличения значений ко дну. Недонасыщение наблюдается только в поверхностном слое. В придонном слое кислорода много, и значения насыщения составляют более 122 % в июне и 160 % в июле. Такая высокая насыщенность кислородом может быть связана либо с отсутствием водообмена, либо с тем, что нет организмов, потребляющих кислород, либо с отсутствием окисляющейся органики.

Тем самым, можно сделать вывод, что гидрологический режим пролива Сухая Салма («лагуна») определяется преимущественно характером водообмена с Белым морем. На водообмен большое влияние оказывают приливы, что выражается в необычном (в зависимости от астрономических условий) ходе уровня.

*Работа выполнена при помощи оборудования Научного парка СПбГУ (РЦ «Обсерватория экологической безопасности»).*