XV
ВСЕРОССИЙСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

БЕЛОЕ МОРЕ:
НА ГРАНИЦЕ АРКТИКИ

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

ЗООЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, РОССИЯ
2026

10–13 НОЯБРЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ЗООЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ЗИН РАН)
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ,
УНИВЕРСИТЕТСКАЯ НАБЕРЕЖНАЯ, Д. 1

XV
ВСЕРОССИЙСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

БЕЛОЕ МОРЕ:
НА ГРАНИЦЕ АРКТИКИ

Оргкомитет

Н.С. Чернецов, чл.-корр. РАН, д.б.н., директор ЗИН РАН / Председатель оргкомитета

В.В. Халаман, д.б.н., ЗИН РАН / Зам. председателя оргкомитета

Д.А. Аристов, к.б.н., ЗИН РАН / Ответственный секретарь

М.В. Гаврило, к.б.н., ААНИИ

П.А. Манойлина, ЗИН РАН

К.Е. Николаев, к.б.н., ЗИН РАН

Я.П. Процюк, ЗИН РАН

А.А. Сухотин, к.б.н., ЗИН РАН

https://wsconference.org/

dmitry.aristov@zin.ru

ISBN 978-5-98092-080-7

© ЗИН РАН, 2026

ПАРТНЁРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ООО «Мономакс»
https://monomax.ru

Научно-образовательный центр «Полярный круг»
https://www.pkrug.ru/

ООО «Вермес»
info@vermes.org

ООО «ИТЕРА»
http://itera.spb.ru/

ООО «Судовые природоохранные комплексы и системы» (NAECO)
https://naeco.ru/

Оглавление

Агасой В.В. К фауне кровососущих двукрылых ББС «Картеш»……6

Алексеева Н.В. Архетип олигомерной личинки пикногонид (Arthropoda: Chelicerata)……..8

Андросюк Л.А., Заботин Я.И., Евтюгин В.Г. Ультраструктурные особенности половых клеток бескишечной турбеллярии *Aphanostoma virescens*……...…9

Аристов Д.А., Максимов А.А., Наумов А.Д. Что изменилось за эти 39 лет? Динамика встречаемости и пространственного распределения макробентоса на литорали двух небольших губ в окрестностях м. Картеш……...11

Бабин М.А., Герасимова А.В., Филиппова Н.А. Стабильность структуры литоральных сообществ макробентоса губы Чупа Белого моря……..13

Балыко Д.Г., Гончар А.Г., Кремнев Г.А., Яковис Е.Л., Артемьева А.А. Генетическая и морфологическая изменчивость *Prosorhynchus squamatus* (Digenea: Bucephalidae): роль первого промежуточного хозяина и географического фактора……15

Басова Л.А., Соколова И.М., Сухотин А.А. Метаболические реакции на соленостный стресс у *Arctica islandica* из Белого и Баренцева морей……17

Бахмет И.Н., Екимов Е.Д. Сердечная активность мидий (*Mytilus edulis* L.) разных возрастов при резких изменениях температуры……...19

Белевич Т.А., Милютина И.А., Воробьева О.В., Троицкий А.В. Межсезонная динамика и филогенетическое разнообразие цианобактерий рода *Synechococcus* в Белом море……..21

Битт Д.Г., Марфенин Н.Н. Рост колониального гидроида *Dynamena pumila* (Linnaeus, 1758) при повышенной температуре воды……23

Булохов А.В., Будько Д.Ф., Краснова Е.Д. Зависимость температуры и солёности воды в меромиктических озёрах Кандалакшского залива от степени их отделения от акватории Белого моря……25

Власова Д.А., Екимова И.А., Становова М.В. Биогеографические связи бореально-арктических моллюсков надотряда Sacoglossa (Gastropoda: Heterobranchia)……...27

Возженникова В.С., Кулешов С.В., Шемякин Т.Ю., Кулаков Л.Л. Опыт эксплуатации и совершенствования батометрической кассеты NAECO по результатам работы в Белом море.29

Герасимова А.В., Максимович Н.В., Филиппова Н.А. Межгодовые флуктуации в успешном пополнении поселений беломорских двустворчатых моллюсков: причины и следствия……..31

Голикова Е.А., Аристов Д.А., Варфоломеева М.А., Корсун С.А. Сезонная динамика литоральных фораминифер губ Сельдяной и Медвежьей Кандалакшского залива Белого моря……..33

Демидов А.А., Родионов М.А., Прощакова В.А., Кулешов С.В. Особенности организации пробоотбора морской воды в условиях эксплуатации маломерными судами……35

Динкелакер Н.Ф.Й., Динкелакер Н.В., Загидуллина А.Т., Брагин А.В., Футоран П.А. Влияние вырубки леса на Онежском полуострове на состояние донных отложений и бентоса малых рек……37

Домрачева М.М., Косевич И.А. Фоторецепция без фоторецепторов: восприятие света у ставромедуз……39

Драчева А.А., Родионов М.А., Задорин В.В., Кулаков Л.Л. Гидрохимические и гидрофизические показатели при оценке антропогенной нагрузки на прибрежные акватории Белого моря……41

Евнукова Е.А., Зайцева О.В. Интраэпителиальная нервная система пищеварительного тракта беломорских гастропод……..43

Ершов П.Н., Хайтов В.М. Динамика трофических связей трески Белого моря: результаты многолетнего мониторинга……...45

Жадан А.Э., Азовский А.И., Шабалин Н.В., Кокорин А.И., Исаченко А.И., Неретин Н.Ю., Цетлин А.Б. Белое море через 100 лет: результаты "Дерюгинского" проекта……...47

Заботин Я.И., Евтюгин В.Г. Ультраструктура мужских половых клеток турбеллярии *Plagiostomum vittatum* (Prolecithophora)……49

Ибатуллина М.М., Заботин Я.И., Евтюгин В.Г. Ультраструктура яйцеклеток немертины *Lineus ruber*……51

Исаков С.Д., Соловьева А.И. Тандемные повторы в геноме беломорской трематоды *Himasthla elongata* (Himasthlidae)……53

Козин В.В. Эмбриональное и личиночное развитие *Ophelia limacina* как модель для изучения осевой спецификации и эволюции морфогенезов у аннелид……55

Козминский Е.В. Изменение параметров жизненного цикла беломорских литторин в условиях глобального потепления климата……57

Корсун С.А., Голикова Е.А., Гафарова Е.Р., Курячий Д.С. Таксономический состав и метаболическая специфика микробиомов фораминифер литорали Белого и Баренцева морей……59

Косевич И.А., Виноградова П.А. Регенеративный потенциал клеточных слоев сцифистом *Aurelia aurita* (Linnaeus, 1758)……...61

Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Лабунская Е.А., Миндолина Ю.В., Плотников А.О. Функциональное зонирование экосистемы прибрежного меромиктического озера Трехцветное……63

Кремнев Г.А., Балыко Д.Г., Соколова А.И., Лянгузова А.Д., Гончар А.Г., Крупенко Д.Ю.В трансарктический вояж «Камчатка – Белое» отправляется трематода смелая……...65

Крупицкая Н.Р., Екимова И.А., Щепетов Д.М., Малахов В.В. Первый опыт использования метабаркодинга для определения спектра питания голожаберных моллюсков (Gastropoda: Nudibranchia……67

Курячий Д.С., Гафарова Е.Р., Гранович А.И. Сравнительный анализ микробиома пустого кишечника близкородственных моллюсков *Littorina fabalis* и *Littorina obtusata*……69

Кухаренко А.М., Максимова О.В. Роль адвентивных ветвей в формировании облика талломов разных экологических форм *Fucus vesiculosus* (Кандалакшский залив Белого моря)……71

Лабунская Е.А., Лобышев В.И., Соколовская Ю.Г., Нагаева А.С., Воронов Д.А., Краснова Е.Д. Браунификация приводит к изменениям подводного светового климата беломорских меромиктических водоемов……...…73

Лаврентьев П.Я., Лезин П.А., Усов Н.В., Халаман В.В., Анненкова Н.В., Горбунов А.Ю. Экология потенциально токсичных динофлагеллят р. *Dinophysis* (Ehrenberg, 1839) в Белом море……..75

Лезин П.А., Халаман В.В., Британков А.К. Влияние низкочастотного акустического сигнала на поведенческие реакции мидии *Mytilus edulis* L……..77

Максимов А.А., Аристов Д.А., Биягов К.Л. Многолетние изменения макрозообентоса Двинского залива……79

Максимова О.В., Кухаренко А.М. Плотность локальных популяций карликового *Fucus vesiculosus* ecad *muscoides* (Кандалакшский залив Белого моря)……..81

Малавенда С.С., Гусев В.Г, Функнер А.Д., Халаман В.В. Разработка способа увеличения выхода товарной мидии при ее культивировании в Белом море……...83

Манойлина П.А., Комендантов А.Ю., Шапошникова Т.Г., Халаман В.В. По разные стороны границы: морфологические особенности внутривидовых контактов у губок *Halichondria panicea*……...85

Манылова Я.А., Аристов Д.А., Полоскин А.В. Разнообразие литорального макробентоса в окрестности деревни Пурнема (Онежский берег, Онежский залив)…….87

Марьина А.А., Драчева А.А., Возженникова В.С., Задорин В.В. Гидрометеорологический буй NAECO как базовая единица мониторинга приповерхностного слоя акватории в береговой зоне……89

Месяц В., Прудковский А.А., Осадченко Б.В. Редукция медузы у гидроидных: сравнительный морфологический анализ медуз и медузоидов у *Sarsia lovenii* (Hydrozoa, Corynidae) на разных стадиях развития……...91

Мирош А.С., Заботин Я.И., Евтюгин В.Г. Ультраструктурная организация тихоходки *Macrobiotus hufelandi*……93

Михайлова Т.А. Актуальные проблемы оценки биоразнообразия морских водорослей…….95

Нагаева А.С., Юрьева А.С., Иванова Д.А., Лабунская Е.А., Радченко И.Г., Воронов Д.А., Краснова Е.Д. Свет под водой: фотосинтетическая активность фитопланктона при разном спектральном составе света в условиях беломорских меромиктических водоёмов……...97

Надточий Е.В., Артамонова В.С., Иванов М.В., Махров А.А., Рольский А.Ю., Лайус Д.Л. Половые различия у молоди трехиглой колюшки Белого моря: рост, пространственное распределение и морфология……99

Никитенко Е.Д., Королева А.С., Домрачева М.М., Ворцепнева Е.В. Формирование спикул голожаберных моллюсков: от транскриптомного анализа к идентификации генов биоминерализации……101

Николаев К.Е., Галактионов К.В. Между волной и хозяином: Влияние прибойности на успех трансмиссии трематод в условиях субарктической литорали……..103

Осадченко Б.В., Косевич И.А., Ворцепнева Е.В. Новые данные о спикулогенезе *Gersemia fruticosa* (Sars, 1860)……..…104

Петрова М.А., Богомолова Е.В.Строение женской половой системы и оогенез трёх видов морских пауков (Pycnogonida): размер имеет значение?.....106

Петров С.А., Зайцева О.В. Катехоламины в нервной системе беломорских немертин…….108

Петухова О.А., Шабельников С.В., Быстрова О.А., Мартынова М.Г., Шатров А.Б., Бенкен К.А., Шарлаимова. Н.С. Целомический эпителий морской звезды *Asterias rubens* и клетки, его населяющие……...110

Пономарева Е.В., Пономарева М.В., Строганов А.Н. *Liopsetta putnami* (Gill, 1864) – криптический вид Белого моря?.....112

Прилуцкий М.Е., Паскерова Г.Г. Адаптации к паразитизму у динофлагеллят рода *Haplozoon* (Dinoflagellata): морфофункциональный анализ строения……...114

Прокофьев В.В. Влияние абиотических факторов на двигательную активность церкарий *Cryptocotyle concava* (Digenea, Opisthorchiidae)……116

Прощакова В.А., Артамкин М.Д., Ли Ф.В., Демидов А.Д. Белое море: от промыслов поморов к марикультуре, науке и туризму……118

Прудковский А.А. Ревизия видового состава гидроидных Белого моря……..120

Рахматулина П.Р., Герасимова А.В. Распределение, продолжительность жизни и характеристики линейного роста *Tridonta borealis* Schumacher, 1817 в губе Чупа (Кандалакшский залив, Белое море)……...122

Ржевская В.А., Герасимова А.В. Продолжительность жизни и линейный рост *Serripes groenlandicus* (Mohr, 1786) в северных морях……...124

Романова Н.Д., Сажин А.Ф., Мошаров С.А., Дриц А.В., Пастернак А.Ф., Сергеева В.М. Микропланктон Белого моря в период ледостава: структура, трофические связи, оценка продуктивности……126

Сафонов М.В., Жданова Н.П., Назарова С.А., Червякова Н.А., Кособокова К.Н., Юрикова Д.А., Сафонова А.Ю.Механизм сотрудничества научной лаборатории и детского лагеря на примере круглогодичных исследований планктона Белого моря……..128

Смольянинова А.Р., Федоров Д.Д., Соловьева А.И. Мобильные элементы в геномах церкарий трематоды *Himasthla elongata* (Digenea, Himasthlidae) с разной реакцией на свет……130

Соколова А.И., Гончар А.Г., Балыко Д.Г, Смирнов П.А. К ультивирование трематод семейства Microphallidae: возможности и ограничения……...132

Строганов А.Н., Пономарева Е.В., Никитенко А.И., Беляев В.А., Пономарева М.В. Особенности формирования численности популяций горбуши в Беломоро-Баренцевоморском регионе……...134

Тютерева Е.В., Кузнецов В.В., Курбатова Л.Е., Павлов И.Б., Лыкова Т.Ю., Лезин П.А., Муртузова А.В. Адаптация световых реакций фотосинтеза к дегидратации и регидратации побегов у нескольких представителей мохообразных, произрастающих в окрестностях мыса Картеш (Белое море)…….……...136

Углунц Т.В., Халаман В.В., Вильданов А.М., Земляков Е.В., Углунц Т.А., Климова-Корсмик О.Г.Исследование коррозионной стойкости аддитивно-полученных сталей и сплавов в условиях Белого моря……138

Усов Н.В. Зоопланктон Унской губы: между рекой и морем…….139

Федоров Д.Д., Николаев К.Е., Левакин И.А., Галактионов К.В. Выживая в приливно-отливной зоне: температурно-соленостная пластичность церкарий *Himasthla elongata* в Белом море……141

Филиппова Н.А., Герасимова А.В., Тимофеева М.А., Бабин М.А., Козин В.В. Репрезентативность данных при мониторинге макробентоса сублиторали Белого моря: роль числа проб и методов обработки данных……...142

Фукс Г.В., Мельник Р.А. Нерестилища беломорской сельди в губе Чупа и близлежащих акваторий……...144

Халаман В.В., Комендантов А.Ю., Михайлова Т.А., Малавенда С.С., Манойлина П.А., Разновская С.В. Обрастания в Кандалакшском и Онежском заливах Белого моря. Почему они разные……146

Цетлин А.Б. Страницы истории ББС МГУ имени Н.А. Перцова и современная модель развития станции.....148

Цуканова К.Н., Иванов М.В., Полякова Н.В. Макробентос лагун Белого моря……...149

Чабан Е.М., Щепетов Д.М., Становова М.В., Миролюбов А.А., Екимова И.А. Заднежаберные моллюски семейства Eoscaphandridae (Gastropoda: Heterobranchia: Cephalaspidea) сублиторали Белого моря……...151

Чернакова П.Г., Голикова Е.А., Аристов Д.А., Новихин А.Е., Корсун С.А. Тафоценозы литоральных фораминифер двух губ Белого моря……...153

К фауне кровососущих двукрылых ББС «Картеш»

В.В. Агасой
Псковский государственный университет, Псков, Россия.
E-mail: agasoi_87@mail.ru

Кровососущие двукрылые семейств Culicidae, Ceratopogonidae и Tabanidae являются существенным компонентом наземных и околоводных биоценозов Европейского Севера. Их фаунистическая структура и сезонная активность определяются температурным режимом, увлажнённостью территории и наличием водных и переувлажнённых местообитаний. Степень изученности этих групп в северной Карелии неодинакова. Наиболее полно обновлены сведения по Culicidae. А. В. Халин, С. В. Айбулатов, Н. А. Лютикова и др. в 2023–2025 гг. обследовали комаров Карелии, включая ББС «Картеш». Для Ceratopogonidae наиболее близкие к станции материалы получены А. А. Пржиборо на озёрах Кривое и Круглое в 1996–2000 гг. Однако сведения о кровососущих мокрецах северного Беломорья преимущественно представлены в работах В. М. Глуховой и Н. В. Борисоглебской. Основные сведения о видовом составе и экологических особенностях слепней северной Карелии представлены в работах А. С. Лутты по материалам Лоухского, Кемского и Калевальского районов и позднее обобщены А. С. Луттой и Х. И. Быковой для Европейского Севера. Таким образом, современные данные по имаго комаров, мокрецов и слепней в районе ББС «Картеш» остаются фрагментарными. Цель работы – охарактеризовать видовой состав кровососущих двукрылых ББС «Картеш» и её окрестностей и сопоставить полученные результаты с опубликованными сведениями по северной Карелии.

Материал собирали на ББС «Картеш» и в её окрестностях в третьей декаде июня – первой декаде июля 2019 г., первой и второй декадах июля 2022 г. и второй декаде августа 2025 г. Имаго отлавливали ручным методом с помощью энтомологического сачка (на учётчике за 20 минут) на территории станции, лесной дороге между озёрами Кривое и Круглое и на их берегах.

Всего было отловлено 928 экз. комаров шести видов, 250 экз. кровососущих мокрецов двух видов и 379 экз. слепней 17 видов. Среди Culicidae зарегистрированы *Aedes (Ochlerotatus) dorsalis* (Meigen, 1830), *A. (Ochlerotatus) punctor* (Kirby, 1837), *A. (Ochlerotatus) communis* (De Geer, 1776), *A. flavescens* (Müller, 1764), *A. (Ochlerotatus) cantans* (Meigen, 1818) и *Culex torrentium* Martini, 1925; среди кровососущих Ceratopogonidae – *Culicoides impunctatus* Goetghebuer, 1920 и *Culicoides grisescens* Edwards, 1939. Слепни представлены *Hybomitra tarandina* (Linnaeus, 1758), *H. nitidifrons confiformis* Chvála & Moucha, 1971, *H. bimaculata* (Macquart, 1826), *H. arpadi* (Szilády, 1923), *H. lundbecki* Lyneborg, 1959, *H. lapponica* (Wahlbg, 1848), *H. lurida* (Fallén, 1817), *H. kaurii* Chvála & Lyneborg, 1970, *H. solstitialis* (Meigen, 1820), *H. distinguenda* (Verrall, 1909), *H. astuta* (Osten Sacken, 1876), *Chrysops divaricatus* Loew, 1859, *C. relictus* Meigen, 1820, *Haematopota subcylindrica* Pandellé, 1883, *H. pluvialis* (Linnaeus, 1758), *H. italica* Meigen, 1804 и *Atylotus fulvus* (Meigen, 1804).

В 2019 г. собрано 339 слепней, принадлежащих к 13 видов. К массовым видам относились *Hybomitra arpadi* (30.4%), *H. bimaculata* (21.5%), *H. tarandina* (17.4%), *H. lundbecki* (10.6%) и *H. nitidifrons confiformis* (7.1%), к многочисленным – *Chrysops divaricatus* (5.9%). Остальные виды были малочисленными и редко встречающимися. В 2022 г. отловлено 863 комаров шести видов и 250 мокрецов двух видов. Среди Culicidae резко преобладал *Aedes dorsalis* (73.5%), далее следовали *A. punctor* (13.6%), *A. communis* (7.1%), *A. flavescens* (2.7%), *Culex torrentium* (2.0%) и *A. cantans* (1.3%). Среди Ceratopogonidae доминировал *Culicoides impunctatus* (70.0%). В августе 2025 г. собрано 65 комаров *Culex torrentium* и 40 слепней пяти видов – *Atylotus fulvus*, *Haematopota subcylindrica*, *H. pluvialis*, *H. italica*, *Chrysops relictus*. Среди табанид преобладали *Haematopota pluvialis* (42.5%) и *H. subcylindrica* (40.0%).

Виды *Atylotus fulvus* и *Chrysops relictus* были редко встречающимися, *H. italica* представлен единичным экземпляром.

Видовой состав Culicidae согласуется с современными данными А. В. Халина и соавторов по ББС «Картеш» и пять видов, зарегистрированных ими на станции, также присутствуют в исследованном нами материале. Дополнительно в наших сборах 2022 г. выявлен вид *Aedes punctor*. В июльском материале 2022 г. выраженно доминировал *Aedes dorsalis*. Регистрация *Culex torrentium* в августе 2025 г. согласуется с опубликованными августовскими находками вида в 2023–2024 гг. При этом ранее опубликованные материалы со станции представлены преимущественно личиночными стадиями, тогда как настоящие сборы дополняют их данными по имаго.

Соотношение Ceratopogonidae в июле 2022 г. соответствует фенологической схеме В. М. Глуховой характерной для Карелии. Первая половина июля относится к первому сезонному максимуму активности кровососущих мокрецов, когда существенную роль играет *C. impunctatus*. Позднее, в середине июля возрастает количество *C. grisescens*. Однако, отсутствие мокрецов рода *Culicoides* в августовских сборах 2025 г. не позволяет проверить ожидаемое усиление роли *C. grisescens* во время второго сезонного максимума и может быть связано как с условиями сборов, так и с межгодовой изменчивостью.

Для слепней выявлена выраженная смена таксономической структуры между ранне- и позднелетними сборами. В конце июня – начале июля 2019 г. преобладают представители рода *Hybomitra*, тогда как во второй декаде августа 2025 г. – Haematopota. Общим для обоих периодов оказался вид *Chrysops relictus*. Такая перестройка согласуется с представлениями А. С. Лутты о сезонности фауны слепней Карелии и приуроченности видов к лесным, околоводным и заболоченным стациям.

Таким образом, на ББС «Картеш» в сборах 2019, 2022 и 2025 гг. выявлено 25 видов кровососущих двукрылых из трёх семейств. Полученные данные дополняют ранее опубликованные сведения по комарам станции характеристикой имагинальной фауны, уточняют состав кровососущих мокрецов рода *Culicoides* и демонстрируют существенные различия ранне- и позднелетнего комплекса слепней. Дальнейшие повторные стандартизованные сборы в одних и тех же биотопах на протяжении всего периода лёта представителей комплекса «гнуса» необходимы для оценки фенологии, межгодовой устойчивости структуры и возможных долговременных изменений фауны кровососущих двукрылых северного Беломорья.

Архетип олигомерной личинки пикногонид
(Arthropoda: Chelicerata)

Н.В. Алексеева
Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.
E-mail: nina.alekseeva@zin.ru

Морские пауки, пикногониды – это небольшая группа морских первичноводных хелицеровых. В отличие от остальных хелицеровых (Euchelicerata) у пикногонид зачастую сохраняется олигомерная личинка (протонимфон), который является примером аутапоморфии Pycnogonida (Dunlop, Arango, 2005). Эти личинки встречаются у представителей разных семейств, однако даже у самых разных пикногонид протонимфоны имеют много общих черт, что отмечается многими авторами. Однако эти личинки имеют разнообразные жизненные стратегии после выхода из яйца (Догель, 1913, Bain, 2003, Brenneis et al., 2017). Отражаются ли эти стратегии на особенностях организации протонимфонов?

Для этой работы выбраны личинки *Nymphon brevirostre* Hodge, 1863 и *Pycnogonum litorale* Strøm, 1762, которые после выхода из яйца покидают яйцевой кокон. Протонимфоны *N. brevirostre* сразу начинают питаться колониальными гидроидами (Alexeeva et al., 2018), а личинки *P. litorale* живут за счет желтка (Alexeeva et al., 2019).

С помощью методов световой и электронной просвечивающей и сканирующей микроскопии исследовано строение животных. Пробоподготовка проведена по стандартным протоколам.

Выделены общие для протонимфонов *N. brevirostre* и *P. litorale* характеристики. Наиболее важные из них: (1) внешне несегментированное компактное туловище, а его сегментарный состав совпадает с цефалосомой взрослой особи, (2) только передняя пара глаз, (3) хоботок с терминальным ротовым отверстием, (4) три пары конечностей – хелифоры и две пары личиночных ног, (5) конечности устроены по общему плану, однако хелифоры снабжены клешнями и прядильным аппаратом (включает пару секреторных клеток), а две пары личиночных ног – простыми коготками.

Несмотря на кажущееся внешнее сходство особенности строения личинок этих видов все-таки имеются. Обозначим некоторые из них. Во-первых, обращают на себя внимание конечности. Прядильный шип хелифор *P. litorale* много длиннее самой клешни, прядильный аппарат не функционирует, тогда как у *N. brevirostre* шип не выдается так сильно, прядильная нить начинает выделяться еще до выхода из яйца. Личинки *N. brevirostre* сразу начинают питаться, поэтому им важно, попав на колонию гидроидов, надежно закрепиться с помощью конечностей и прядильной нити. Эту же задачу выполняют и личинки *P. litorale*, однако делают это иначе. У них имеется много зубчиков на внутренней поверхности клешней, а прядильный шип, последний членик личиночных ног и их субтерминальный шип несут плотное опушение. Во-вторых, хоботок *P. litorale* конусовидный, а не цилиндрический, как у *N. brevirostre*. На конце хоботка *P. litorale* имеется ротовая трубка, однако нет ни цедильного аппарата в глотке, ни слюнных желез хоботка, т.к. она не питается, а использует запасы желтка в покровах. Наконец, в-третьих, личинки *N. brevirostre* в два раза крупнее и менее многочисленные, чем *P. litorale*, хотя оба вида далеки от К-стратегии.

Таким образом, различия между протонимфонами *N. brevirostre* и *P. litorale* объясняются разными стратегиями перехода к самостоятельной жизни, разным питанием, особенностями постэмбрионального развития. Однако общий план строения остается неизменным, личинки состоят из четырех постокулярных сегментов, что делает их сходными с плезиоморфными для членистоногих «head-larvae» (Dunlop, Arango, 2005).

Работы выполнены с использованием оборудования Беломорской ББС «Картеш», РЦ СПбГУ «ОЭБ», ЦКП ЗИН РАН «Таксон» (http://www.ckp-rf.ru/ckp/3038/). Работа выполнена в рамках гос. задания № 125012800889-2 «Структура, биоразнообразие и функционирование экосистем морей Арктического бассейна в условиях меняющегося климата».

Ультраструктурные особенности половых клеток бескишечной турбеллярии *Aphanostoma virescens*

Л.А. Андросюк*, Я.И. Заботин, В.Г. Евтюгин

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия.

*E-mail: xlpsenotikx@gmail.com

Бескишечные турбеллярии (Acoela) давно привлекают внимание эволюционных биологов в связи со своеобразием морфологической организации и дискуссионным филогенетическим положением в системе Bilateria. Особенности строения их половой системы и гаметогенеза, отличающиеся значительным разнообразием, нередко рассматриваются как источник филогенетически значимой информации, однако на ультраструктурном уровне у многих видов остаются недостаточно изученными.

В связи с этим целью данной работы стало исследование ультратонкого строения мужских и женских половых клеток ацелы *Aphanostoma virescens* (Örsted, 1845) (Acoela: Isodiametridae). В частности, были дополнены сведения по стадиям спермиогенеза (Raikova, Justine, 1994) и впервые описано строение ооцитов.

Половая система *A. virescens* расположена в вентральной части тела; семенники и яичники диффузные, не имеют эпителиальной выстилки, половые клетки граничат непосредственно с клетками паренхимы. Общее половое отверстие (гонопор) образует расширение (половой атриум), в которое с левой стороны открывается женский копулятивный орган (вагина, ведущая в бурсу), а с правой – мужской (пенис, ввернутый в семенной пузырь; Steinbock, 1931). Стенка бурсы образует наконечник, представляющий собой клеточный колпачок, состоящий из слоев уплощенных клеток с актиновыми филаментами (Петров, 2007).

Особи *A. virescens* были собраны на литорали о-вов Виченная Луда и Сидоров (Керетский архипелаг, губа Чупа, Белое море) в смывах с водорослей. Материал был зафиксирован в 1% глютаровом альдегиде на 0.1 М фосфатном буфере и подготовлен для трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) по стандартной схеме – дополнительная фиксация 1% раствором четырехокиси осмия на 0.1 М фосфатном буфере, обезвоживание спиртовым рядом (от 30% до абсолютного) и ацетоном, заливка в эпоновую смолу. Ультратонкие срезы были получены с помощью ультрамикротомов «Reichert-Jung» и «LKB», контрастированы уранил-ацетатом и цитратом свинца и исследованы с помощью ТЭМ Hitachi HT7700 Exalens в Междисциплинарном центре «Аналитическая микроскопия» Казанского (Приволжского) федерального университета.

Ранняя сперматида *A. virescens* имеет округлую форму. Ядро с равномерно распределенным хроматином занимает центральное положение и большую часть объема клетки. Митохондрии немногочисленны, округлой формы, разбросаны по цитоплазме. Клетка снабжена двумя свободными жгутиками, аксонемы которых имеют формулу 9+2. В ходе спермиогенеза происходят два параллельных процесса – вытягивание сперматиды и погружение жгутиков в цитоплазму в направлении от дистального конца клетки к проксимальному. Последний процесс часто происходит асинхронно: один из двух жгутиков оказывается захвачен цитоплазматическими выростами, тогда как другой еще остается за пределами клетки.

Поздняя сперматида *A. virescens* имеет веретеновидную форму и содержит вытянутое ядро с электронно-плотным фибриллярным хроматином, в котором встречаются прозрачные участки. Цитоплазма содержит две инкорпорированные аксонемы, немногочисленные округлые митохондрии, а также мелкие вытянутые электронно-плотные гранулы. Кортикальные микротрубочки проходят по спирали вдоль всего тела клетки. Наружная орнаментация, характерная для зрелого сперматозоида, не прослеживается.

Сперматозоид *A. virescens* имеет нитевидную форму; в нем условно можно выделить три отдела: головку с вытянутым ядром, шейку с митохондриями и электронно-плотными гранулами, а также хвостовой отдел, в котором остаются лишь две аксонемы. В головке сперматозоида ядро занимает практически весь объём клетки, что приводит к смещению кортикальных микротрубочек на периферию вплотную к аксонемам. В продольном сечении ядро имеет извитую спирально-закрученную форму. Кортикальные микротрубочки расположены в один слой равномерно по периферии клетки, непосредственно под мембраной. Акросома отсутствует. Вдоль всей длины клетки проходят две инкорпорированные аксонемы с формулой 9+2. Поверхность сперматозоида покрыта мембранной орнаментацией в виде регулярно расположенных продольных гребней.

Ооцит *A. virescens* содержит округлое ядро, занимающее около половины объема клетки. В центральной части ядра могут быть заметны скопления хроматина и электронно-плотное ядрышко. Наиболее заметными органеллами в ооплазме являются многочисленные равномерно распределенные митохондрии. Немногочисленные желточные гранулы локализуются преимущественно на периферии ооплазмы. Ооцит окружен дополнительными (обкладочными) клетками с электронно-плотной цитоплазмой и хорошо заметными каналами гранулярного эндоплазматического ретикулума. Первичная оболочка на данной стадии не обнаруживается.

Ультраструктурные особенности сперматозоидов *A. virescens*, в частности, две аксонемы с формулой 9+2, кортикальное положение микротрубочек и наличие наружной орнаментации ранее были отмечены у других представителей Isodiametridae (Petrov et al., 2004).

По характеру расположения желтка яйцеклетки *A. virescens*, как и у всех Acoela, относятся к энтолецитальному типу. Исследованные в данной работе ооциты сходны с женскими половыми клетками других видов изодиаметрид, в частности, *Isodiametra pulchra* (Chandler et al., 1992) и *Archaphanostoma agile* (Zabotin, Golubev, 2014), по ультраструктуре и расположению желточных гранул и наличию обкладочных клеток с мощно развитыми каналами ЭПР. Однако не было обнаружено первичной оболочки и гранул, формирующих ее (гранул типа А по классификации Chandler et al., 1992), что может объясняться более ранней стадией созревания ооцитов.

Таким образом, исследованные в данной работе ультраструктурные особенности сперматозоидов и яйцеклеток *A. virescens* соответствуют плану строения, характерному для Isodiametridae, и могут найти применение для установления филогенетических связей внутри семейства. Относительная консервативность строения половых клеток изодиаметрид также свидетельствует в пользу их монофилии, установленной морфологическими и молекулярными методами (Atherton, Jondelius, 2022).

Что изменилось за эти 39 лет? Динамика встречаемости и пространственного распределения макробентоса на литорали двух небольших губ в окрестностях м. Картеш

Д.А. Аристов*, А.А. Максимов, А.Д. Наумов
Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: Dmitry.Aristov@zin.ru

Прогнозирование долгосрочной динамики морских бентосных сообществ и выявление её причин ограничены дефицитом многолетних мониторинговых данных на постоянных полигонах. В этой связи долговременные мониторинги бентосных сообществ (Максимов, 2018; Clare et al., 2015; Azovskiy, Kokarev, 2019; Bacouillard et al., 2020; Reise et al., 2025 и некоторые др.) представляют большую ценность. К настоящему времени в распоряжении сотрудников Беломорской Биостанции ЗИН РАН накоплен практически сорокалетний массив наблюдений над литоральным макробентосом в двух заливах в непосредственной близости от м. Картеш. Поскольку съемки ведутся ежесезонно на регулярной сетке станций, полученные ряды данных практически не имеют аналогов. Опубликованные ранее материалы демонстрируют значительную пространственно-временную неоднородность в распределении макробентоса в двух заливах (Varfolomeeva, Naumov, 2013), влияние на сообщество одного из заливов – Сельдяной губы – катастрофических последствий вмерзания морского грунта в припай (Naumov, 2013; Azovskiy et al, 2023), квазициклические несинхронизированные друг с другом колебания отдельных литоральных видов (Савченко, Наумов, 2020), а также постепенное изменение видовой структуры в Медвежьей губе и относительно стабильное состояние сообщества в г. Сельдяной, без привязки к исследованным климатическим факторам (Azovskiy, 2023).

Настоящее исследование фокусируется на анализе динамики встречаемости видов, поскольку именно этот параметр наименее подвержен влиянию процесса пробоотбора, вместе с тем он позволяет оценить изменения, произошедшие в структуре сообществ. Целью исследования стало оценить временную и пространственную динамику структуры сообщества литорального макробентоса за практически сорокалетний период наблюдений.

Сбор данных проводился в период с 1987 по 2026 год с пробелом в наблюдениях с 2020 по 2022 гг. Пробы макробентоса собирали 4 раза в год (в марте-апреле, мае-июне, июле-августе и октябре-ноябре), в двух губах на стандартных трансектах вдоль градиента осушки (4 станции), на каждой станции пробы грунта отбирали в 3-х повторностях (подробнее методику сбора см. Савченко, Наумов, 2020). Из-за пропусков отдельных сезонных съемок в единичные годы количество собранных проб колебалась от 12 до 24 в каждой губе ежегодно. Поскольку настоящее исследование сфокусировано на долговременных изменениях, данные за отдельные сезоны объединялись.

За весь период наблюдений нами были отмечены 124 вида и таксона надвидового ранга, из них 99 видов животных и 25 видов растений. Количество таксонов колеблется из года в год от 34 до 58 со средним около 45 таксонов, при этом долговременных тенденций в динамике видового богатства не прослеживается. Количество таксонов, обнаруженных за весь период наблюдений, практически не различается между двумя губами (г. Сельдяная – 108, г. Медвежья – 120). Литоральные сообщества на исследованных участках акватории демонстрируют значительную пространственно-временную неоднородность: меньше 25% видового списка встречается более, чем в 50% проб ежегодно. В среднем, в Медвежьей губе семь видов встречается более чем в 50% проб ежегодно: в порядке убывания встречаемости это *Peringia ulvae, Macoma balthica, Scoloplos armiger, Tubificoides benedeni, Capitella capitata, Mytilus edulis* и *Pygospio elegans.* В

Сельдяной губе таких видов восемь, однако вместо полихет *S. armiger*, *C. capitata* и мидий *M. edulis* в списке наиболее часто встречающихся появляются *Chironomus salinarius, Tubifex costatus, Littorina saxatilis* и *Mya arenaria*. Для некоторых видов в отдельных губах можно проследить отчетливые многолетние тренды динамики встречаемости. Так, в г. Медвежьей *Tubificoides benedeni* начинает чаще встречаться после 2005 года, что приблизительно совпадает с уменьшением встречаемости *S. armiger*. После 2000х годов *Microspio theeli* практически не встречается в пробах, зато в это время *M. edulis* входит в ядро сообщества. Высокая встречаемость *Cladophora sericea* также отмечается в более современный период наблюдений (после 2005 г). Массовый двустворчатый моллюск *Macoma balthica* достигает пика встречаемости в период 1995-2010 гг, но впоследствии становится более редкой. Наблюдаемая картина хорошо объясняется сменой доминирующих видов – «экосистемных инженеров», создающих среду обитания. Действительно, до начала 2000х годов в Медвежьей губе встречаемость пескожила *Arenicola marina*, классического биотурбатора, значительно превалировала над взморником *Zostera marina*, способствующим стабилизации осадка. Однако с начала XXI века после 5ти-летнего переходного периода *Z. marina* стал встречаться существенно чаще пескожила. Следует отметить, что несмотря на то, что и в Сельдяной губе оба этих вида встречаются, с 1990х годов встречаемость взморника колеблется вокруг отметки в 50% и всегда выше, чем у *A. marina*, и перестройки сообщества наподобие той, что произошла в Медвежьей губе не происходит. Различие наблюдаемых трендов в двух располагающихся неподалеку заливах не позволяет объяснить перестройку сообщества в г. Медвежья восстановлением *Z. marina* в Белом море после ее вымирания в 1960-х годах (Вехов, 1970; Букина и др., 2010). Мы предполагаем, что обнаруженные различия могут быть связаны с особенностями осадконакопления и ледового режима в этих двух губах, благоприятствующих, или наоборот, препятствующих тому или иному «экосистемному инженеру».

Любопытно, что различия в структуре литорального макробентосного сообщества в двух исследованных заливах, хотя и сохраняются, но со временем становятся меньше, то есть происходит «унификация» сообществ, связанная, прежде всего, с развитием взморника и ассоциированных с ним видов.

Динамика распределения видов вдоль градиента осушки носит мозаичный характер, и лишь для небольшого числа видов можно выявить относительно устойчивый долговременный тренд. Так, *Alitta virens* и *Tubifex costatus* в Сельдяной губе стали чаще попадаться на мористых станциях, то же можно сказать и о *Capitella capitata*, при этом такой же паттерн повторяется и в Медвежьей губе. Личинки хирономид *Chironomus salinarius* начинают реже встречаться на верхнем горизонте литорали в г. Сельдяная.

Полученные результаты свидетельствуют о сложной и несочетанной динамике литорального макробентоса в двух близкорасположенных губах, что позволяет предположить большее влияние локальных факторов на конкретные долговременные паттерны встречаемости отдельных видов, чем крупномасштабных климатических изменений. Картина дополняется взаимодействием видов – «экосистемных инженеров», представленность которых может определять облик всего литорального бентосного сообщества.

Авторы благодарят всех участников мониторинга, помогавших в сборе материала. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ЗИН РАН (Тема №125012800889-2)

Стабильность структуры литоральных сообществ макробентоса губы Чупа Белого моря

М.А. Бабин*[1], А.В. Герасимова[2], Н.А. Филиппова[2]

[1]Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия;

[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

*E-mail: lord.babinton@gmail.com

Губа Чупа представляет собой классический эстуарий, будучи одним из наиболее изученных районов Белого моря. В сравнении зон акватории, приуроченных к вертикальному разделению, литораль как зона контакта суши и моря наиболее чувствительна к изменениям среды и инвазиям. При изучении изменения параметров среды удобным объектом экологического мониторинга является морской бентос – малоподвижные и долгоживущие организмы, аккумулирующие эффекты изменения среды. В настоящее время накоплен значительный массив данных о донной биоте губы Чупа, однако комплексных исследований литоральных сообществ, охватывающих период более 30 лет, крайне мало. Повторные съемки предпринимались сотрудниками МГУ, ЗИН РАН и СПбГУ, однако затрагивалась сублитораль, либо отдельно стоящие участки. В 1987 – 1990 гг. сотрудниками кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ была проведена масштабная съёмка макробентоса губы Чупа, а в 2025 г. выполнено повторение пробоотбора в литоральной зоне устьевого участка исследуемой акватории.

Таким образом, цель исследования – оценка современного состояния литорального бентоса в устьевой части губы Чупа и сравнительный анализ изменений в структуре биоты за почти 40 лет.

Материал собран в июле 2025 г. на двух участках (бухты Сельдяная и Лисья) на 20 парных разрезах на каменистых и илисто-песчаных грунтах. Всего отобрано 115 проб. Пробоотбор осуществлен отдельно в средней (СГЛ), нижней (НГЛ) литорали и верхней сублиторали (ВСЛ) до глубины 0,5 м. На каждой станции пробы собирали методом пирамид с использованием выборочных площадок 0,01 – 1 м² (по 5 проб каждой площадкой). Пробы промывали через сито с ячеей 1 мм. Организмы определены до вида, оценены численность и масса.

Из абиотических переменных учтены гранулометрический состав грунта и содержание органических веществ методом сухого сжигания.

Математический анализ выполнен с использованием пакетов PAST 5 и Primer. Применены кластерный анализ, nMDS, ANOSIM, SIMPER, ISA, тест Мантеля, процедура BEST. Рассчитаны индексы Шеннона, Пиелу, AMBI и M-AMBI.

Всего в составе бентоса за обе съемки и на обоих участках обнаружено 83 таксона, из которых 49 были общими для обеих съёмок. Наибольшим видовым разнообразием отличались многощетинковые черви (21 таксон), моллюски (13 таксонов), а также макрофиты: бурые и красные водоросли (12 и 10 таксонов). Индекс Шеннона варьировал в пределах 0,56 – 2,19, максимальных значений достигал в верхней сублиторали.

Суммарные значения численности и биомассы макробентоса на станциях варьировали в широких пределах: численность на каменистых грунтах – от 2414 до 40872 экз./м², на илисто-песчаных – от 3704 до 34713 экз./м²; биомасса – 3708 – 14403 г/м² и 95 – 2695 г/м² соответственно. Отмечено доминирование макрофитов в создании суммарной биомассы бентоса на большинстве станций: на каменистых грунтах бурые водоросли (*Chorda filum*, *Fucus* sp.) составляли свыше 90% суммарной биомассы, на илисто-песчаных – до 90% за счёт *Zostera marina*. Среди зообентоса основной вклад в биомассу и скорость дыхания (54 – 91%) вносили двустворчатые моллюски: на каменистых грунтах – *Mytilus* sp., на илисто-песчаных – *Mya arenaria*. По численности преобладали олигохеты и брюхоногие моллюски сем. Hydrobiidae (90% и выше в сумме).

Наиболее значимые абиотические факторы, выделенные процедурой BEST и определяющие гетерогенность распределения донных организмов по показателям обилия, включали характеристики грунта (доли гальки, гравия и песчаных фракций) и продолжительность осушения. Именно они формируют пространственную неоднородность сообществ, приурочивая ассоциации *Zostera marina, Macoma balthica* и *Mya arenaria* к илисто-песчаным грунтам, а ассоциации мидий и бурых водорослей – к каменистым субстратам.

Сравнительный анализ показал отсутствие существенных смещений в характеристиках донной биоты в литоральной зоне губы Чупа за исследуемый период. Гетерогенность в распределении бентоса, выявленные наиболее значимые абиотические факторы, количественные и качественные характеристики донной биоты, распределение сообществ, характерные доминанты в надвидовых группировках, виды-индикаторы разрезов летом 2025 года соответствовали аналогичным показателям литорального бентоса 90-х годов, что подтверждается результатами теста Мантеля (по респираторному индексу) и совпадением видов-индикаторов (анализ ISA). На данном этапе исследований нет оснований утверждать, что отмеченные незначительные изменения в структуре донных сообществ литорали имеют характер направленного многолетнего тренда. Часть изменений может быть объяснена естественной динамикой популяционных показателей доминирующих таксонов.

Анализ экологического состояния бентоса с помощью индексов AMBI и M-AMBI позволил отнести большинство станций в обе съёмки к «слабо нарушенным» и «умеренно нарушенным» (по численности) и к «хорошему» и «высокому» экологическому статусу (по респираторному индексу). Характеристики выделенных бентосных ассоциаций позволяют отнести их к ненарушенным биосистемам.

Генетическая и морфологическая изменчивость *Prosorhynchus squamatus* (Digenea: Bucephalidae): роль первого промежуточного хозяина и географического фактора

Д.Г. Балыко[1]*, А.Г. Гончар[1,2], Г.А. Кремнев[2], Е.Л. Яковис[1], А.А. Артемьева[1]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;*
[2]*Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.*
*E-mail: ggsmky5@gmail.com

Использование молекулярных и морфологических методов всё чаще доказывает, что привычные представления о видовом составе паразитов могут быть обманчивыми. В частности, у трематод взаимодействие с промежуточными хозяевами может определять дифференциацию видов, при этом морфологические различия между близкими формами зачастую оказываются малозаметными. Один из таких случаев — вид *Prosorhynchus squamatus* (Digenea: Bucephalidae), для которого в Белом море в качестве первых промежуточных хозяев известны двустворчатые моллюски двух родов, *Mytilus* и *Musculus*. Возникает вопрос: действительно ли один вид паразита использует разных хозяев или за внешним сходством скрывается несколько близких видов? Мы хотим ответить на этот вопрос, используя современный подход к изучению систематики и эволюции трематод.

На Белом море нам удалось собрать метацеркарий и марит *Prosorhynchus* cf. *squamatus* из *Myoxocephalus scorpius*, а также обнаружить заражённых *Musculus discors* и *M. niger* (в Кандалакшском и Онежском заливах) и *Mytilus* sp. (в Мезенском заливе). В дополнение к этому материалу, мы проанализировали образцы из Печорского моря (хозяин *Mytilus* sp.), с побережья Камчатки (хозяин *Myoxocephalus jaok*), Баренцева моря (хозяин *Myoxocephalus scorpius)* и Курильских островов (хозяин *Gymnocanthus galeatus*). Для всех изолятов из небольшой части тканей мы выделяли ДНК, сохраняя гологенофор для морфологического анализа.

Последовательности 28S рДНК для беломорских изолятов из мидии; изолятов марит *Prosorhynchus* из Охотского моря (Atopkin et al., 2022 Parasitology); и наших изолятов марит из Тихого океана (о. Матуа) оказались идентичными. Именно это совпадение последовательностей 28S послужило основанием для включения в анализ дополнительных образцов с Дальнего Востока и позволило предположить возможное широкое географическое распространение представителей рода *Prosorhynchus*.

Для молекулярно-генетического анализа использовали пять маркеров: ядерные 18S и 28S рДНК, ITS1, ITS2 и митохондриальный *cox1*. Анализ показал устойчивые различия между трематодами, паразитирующими в *Mytilus* sp. и *Musculus* sp., по всем исследованным маркерам. При этом все мариты и метацеркарии, собранные на Белом море, по результатам генотипирования соответствуют форме из *Musculus*. Таким образом, остается непонятным видовой статус и путь трансмиссии формы из *Mytilus* на Белом море.

Доступный нам дальневосточный материал пока включает только марит, но даже в таком объёме позволяет сделать некоторые важные наблюдения. Образцы с о. Матуа (Курильская гряда) оказались генетически ближе к *Mytilus*-ассоциированной линии, чем к *Musculus*-ассоциированной. Для ITS2 генетическая дистанция между образцами с о. Матуа и *Mytilus*-ассоциированной линией составила 0,21%, а с *Musculus*-ассоциированной — 0,43%; для *cox1* — 5,3% и 6,3%, соответственно. Для маркера 28S рДНК последовательности образцов с о. Матуа оказались идентичны последовательностям представителей *Mytilus*-ассоциированной линии. Таким образом, генетическое сходство обнаруживается не только между образцами, связанными с одним типом первого промежуточного хозяина, но и между географически удалёнными точками, что может указывать на более широкое географическое распространение *Mytilus*-ассоциированной линии.

При этом любопытно, что последовательность cox1 для изолята мариты с Камчатки (хозяин *Myoxocephalus jaok*) оказалась идентичной последовательности для изолята мариты с о. Боршовец (Белое море), и отличалась от остальных, полученных для изолятов из других точек Белого моря (ББС МГУ, о. Матрёнин, о. Сидоров, Соловецкие острова). Таким образом, генетическое сходство вновь выявляется между географически удалёнными изолятами: марита с Камчатки оказалась идентичной по cox1 одному из беломорских изолятов, который относится к *Musculus*-ассоциированной линии.

Предварительная морфометрическая оценка также выявила достоверные различия между исследованными группами по размерам и пропорциям яиц. В настоящее время проводится расширенный морфометрический анализ всего доступного набора гологенофоров марит. Сопоставление этих данных с результатами молекулярного анализа позволит оценить, соответствует ли морфологическая изменчивость выявленной генетической структуре.

Таким образом, для понимания видового статуса *Prosorhynchus squamatus* необходимо учитывать дифференциацию не только между разными первыми промежуточными хозяевами, но и между географически удаленными точками. Полученные данные не полностью укладываются в простую модель разделения *Prosorhynchus squamatus* исключительно по типу первого промежуточного хозяина. Отсутствие данных о первом промежуточном хозяине для дальневосточных образцов не позволяет однозначно разделить влияние двух факторов (географическое происхождение и вид моллюска-хозяина) на генетическую дифференциацию. Полученные результаты свидетельствуют о сложной структуре изменчивости *Prosorhynchus squamatus* и подчёркивают необходимость совместного анализа генетических, морфологических, географических и экологических данных для уточнения видового статуса выявленных генетических групп.

Работа выполнена в рамках темы гос. задания 125012800903-5 «Паразиты животных и растений – видовое разнообразие, эволюция и пути трансмиссии в естественных и антропогенных ландшафтах» (Зоологический институт РАН) и с использованием оборудования ресурсного центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий» СПбГУ (проект 2511-044).

Метаболические реакции на соленостный стресс
у *Arctica islandica* из Белого и Баренцева морей

Л.А. Басова[1]*, И.М. Соколова[2], А.А. Сухотин[3]
[1]Мурманский морской биологический институт, Мурманск, Россия;
[2]Ростокский университет, Росток, Германия;
[3]Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: larisa.basova@gmail.com

Двустворчатый моллюск *Arctica islandica* может служить модельным организмом для изучения связи между продолжительностью жизни животных, их метаболизмом и условиями среды обитания. Продолжительность жизни особей этого вида различается между популяциями: в полностью морских местообитаниях она значительно превышает 100 лет, а при пониженной солености составляет несколько десятилетий. Белое и Баренцево моря представляют естественную систему для сравнительного анализа влияния солености среды на метаболические стратегии морских осмоконформеров. Целью работы было выявить популяционно-специфические особенности метаболизма и определить, как изменение солености влияет на энергетический статус, осморегуляцию, поддержание гомеостаза и состав метаболитов у *A. islandica*.

Моллюсков отбирали в Кандалакшском заливе Белого моря и в Ярнышной губе Баренцева моря. Животных содержали при 5°C, и в течение 30 суток акклимировали к солености 17, 25 или 33‰. Значения 25 и 33‰ отражают естественные условия Белого и Баренцева морей, соответственно. После акклимации определяли содержание белков, углеводов и липидов, активность электрон-транспортной системы (ETS) и концентрации метаболитов в тканях методом жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии.

Выживаемость *A. islandica* из двух популяций при пониженной солености (17‰) различалась особенно резко: к концу 30-суточной экспозиции суммарная смертность моллюсков из Баренцева моря составила 79%, тогда как из беломорской популяции – только 4%. При солености 25 и 33‰ смертность была низкой и составляла 7 и 7% у баренцевоморских и 4 и 0% у беломорских моллюсков, соответственно.

Несмотря на выраженные различия в выживаемости и метаболомных профилях, общие показатели энергетического состояния тканей изменялись слабо. Содержание белков и углеводов не зависело от солености ни в одной из популяций. У беломорских моллюсков при солености 17‰ содержание липидов было выше, чем при 25‰, тогда как у баренцевоморских особей этот показатель оставался постоянным. Активность ETS также в целом не изменялась при акклимации к разной солености. Межпопуляционное различие выявлено только при 33‰, когда активность ETS была ниже у моллюсков из Баренцева моря. Таким образом, общий энергетический баланс был стабилен, тогда как влияние солености проявлялось преимущественно на составе метаболитов.

Наиболее выраженные различия обнаружены в обмене аминокислот и иных осмолитов. В тканях беломорских моллюсков концентрации глицина и пролина в целом были выше, чем у баренцевоморских. Повышенные уровни тирозина и триптофана также были характерны для беломорской популяции. Содержание аминокислот при разных соленостях различалось между популяциями. У баренцевоморских моллюсков при снижении солености возрастали концентрации тирозина, триптофана, треонина, фенилаланина, лейцина и валина. У беломорских особей при отклонении от естественной солености 25‰ повышались уровни таурина, глутамата, глутамина, аспартата, аспарагина, метионина, пролина и лизина. При этом содержание глицина и аланина при солености 17‰ снижалось. Общая концентрация свободных аминокислот различалась только при 33‰ и была выше у беломорских арктик.

Изменения затрагивали и метаболиты цикла трикарбоновых кислот. В популяции из Баренцева моря концентрации пирувата, (изо)цитрата, сукцината, малата и лактата в целом сохранялись стабильными во всем диапазоне исследованных соленостей. У беломорских моллюсков при солености 17‰ снижались пируват и лактат, а при 33‰ увеличивался малат. Особенно показателен фумарат: его содержание было максимальным при естественной для каждой популяции солености и снижалось как при гипо-, так и при гиперосмотическом воздействии. Такая зависимость указывает на связь цикла трикарбоновых кислот с адаптацией к осмотическому режиму в конкретных местообитаниях.

Популяционные различия сохранялись после месячной акклимации в одинаковых условиях. Анализ отчётливо разделял беломорских и баренцевоморских моллюсков. При солености 25‰ различия определялись прежде всего метаболитами энергетического обмена, аминокислотами, метионинсульфоксидом и γ-аминомасляной кислотой, а при 33‰ становились ещё более выраженными.

Беломорские моллюски характеризовались более высокими уровнями метионинсульфоксида и цистеина, а также более выраженным вовлечением глутатионовой системы. Это свидетельствует о более высоком уровне окислительного стресса независимо от солености акклимации. Одновременно повышенное содержание глицина и глутатиона может отражать усиление антиоксидантной защиты. Для беломорских арктик, вероятно, характерна более высокая базовая метаболическая активность и, соответственно, генерация активных форм кислорода. При этом особи из этой популяции обладают большей пластичностью метаболома и лучше переносят пониженную солёность. Для баренцевоморских моллюсков характерен более консервативный метаболический ответ, однако при солености 17‰ он сопровождался высокой смертностью.

Таким образом, реакция *A. islandica* на соленость определяется не только непосредственным осмотическим воздействием, но и долговременными популяционными различиями. Гипо- и гиперосмотические условия вызывают перестройку прежде всего аминокислотного, осмолитного и клеточного энергетического обмена, тогда как запасы основных энергетических субстратов и активность электрон-транспортной системы после длительной акклимации остаются относительно стабильными. Беломорская популяция отличается большей метаболической гибкостью, более выраженной перестройкой состава осмолитов и путей редокс-регуляции, что, вероятно, способствует более высокой устойчивости к пониженной/изменчивой солености. Сохранение популяционно-специфического метаболомного профиля в общих условиях указывает на длительное формирование различий под влиянием контрастных условий среды. Полученные данные связывают метаболическую пластичность со стрессоустойчивостью популяций и создают основу для изучения механизмов связи среды, метаболизма и продолжительности жизни у долгоживущих морских беспозвоночных.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЗИН РАН (Тема №125012800889-2).

Сердечная активность мидий (*Mytilus edulis* L.) разных возрастов при резких изменениях температуры

И.Н. Бахмет[1]*, Е.Д. Екимов[2]

[1]Институт биологии КарНЦ РАН,
ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия;
[2]Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН,
ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия.
*E-mail: igor.bakhmet@gmail.com

Изменения температуры окружающей среды в связи с эффектом глобального потепления все больше привлекает внимание исследователей (Coumou and Robinson, 2013). Однако даже при самом неблагоприятном сценарии предполагается, что средняя температура к концу века может подняться только до 4.4ºC (Alfonso et al., 2021; IPCC,2022). С «точки зрения» двустворчатых моллюсков данные изменения температуры не являются критическими. В то же время не следует забывать о так называемых “heatwaves”, то есть неожиданных резких подъемах температур в течение относительно длительного времени. Уже доказан повреждающий эффект для двустворок в таких ситуациях (Oliver et al., 2018). В отношении средних широт в этом аспекте основное внимание уделяется мидиям *Mytilus edulis*. Это обосновано тем, что, как в литоральной, так и в верхней сублиторальной зонах мидии, как правило, являются видом-эдификатором. Следовательно, гибель мидий могла бы привести к серьёзной экологической катастрофе, так как были бы нарушены многочисленные межвидовые связи. На этом фоне резко выделяется такой водоем, как Белое море, с колебанием температуры поверхностных вод от -1.5ºC зимой до 20.2ºC летом (Бабков, 1982). Более того, на литорали, в отлив температура, к примеру, мидий может варьировать от -9 –- 12ºC зимой до +40ºC летом (собственные наблюдения). С учетом возможного глобального потепления в будущем температурные сдвиги могут еще более возрасти и, соответственно, приводить к нарушению оптимальных условий существования моллюсков и смертности животных (Masanja et al., 2023).

Применение методики оценки сердечной активности мидий связано с гипотезой, что работа сердца особенно важна для термотолерантности, а именно: сердечная активность и, в особенности, частота сердечных сокращений (ЧСС) являются лимитирующим фактором. Это своего рода “weaklink” в физиологических процессах при акклимации эктотермов к разным температурам (Somero, 2005; Eliason et al., 2011). В связи с вышесказанным было решено провести эксперименты по исследованию сердечной активности мидий при изменении температуры воды. При этом были выбраны моллюски разного возраста, поскольку, существуют данные, что с возрастом сопротивляемость к неблагоприятным воздействиям увеличивается, однако до определенного предела, после чего резистентность снижается (Sukhotin et al., 2003).

Работа была выполнена в апреле 2024 года на Беломорской биологической станции им. О.А. Скарлатто Зоологического института РАН. Мидии, с размерами от 10 до 85 мм и возрастом, соответственно, от +2 до +10 лет собирались в бухте Круглой Чупинской губы Кандалакшского залива Белого моря с установок для культивирования моллюсков (глубина 2-3 м) при температуре воды -1.2ºC. Аквариум с мидиями одной группы помещали в программируемый термостат ERSTEVAK TSM 2A130W, установленный на температуру 0 °C. Спустя один час температура в термостате плавно повышалась от 0 °C до 26 °C с шагом 4 °C в час. После достижения максимального значения температуры начинали ее понижение до 0 °C с шагом 2 °C в час.

Регистрацию ЧСС проводили непрерывно на протяжении всего эксперимента. Запись сердечного ритма осуществлялась при помощи методики дистантной регистрации изменения объема сердечной мышцы (плетизмограмма), основанной на излучении инфракрасного света

в область расположения сердца и приема отраженного сигнала. Полученный сигнал был усилен и отфильтрован по методу, разработанному ранее Depledge и Andersen (1990). Далее обработка сигнала осуществлялась по усовершенствованной методике (Bakhmet, Ekimov, 2021).

Прежде всего подчеркнем, что даже при нулевых значениях температур сердечная активность оставалась на относительно высоком уровне – от 3.9 до 9.0 сокр/мин. В ходе эксперимента ЧСС мидий всех возрастов закономерно возрастала с ростом температуры и после достижения критической температуры (Ткрит) резко падала (в некоторых случаях вплоть до остановки сердечных сокращений). В дальнейшем, при падении температуры, наблюдалось восстановление сердечной ритмики с последующим плавным понижением. Зависимость сердечной активности от изменения температуры описывалась уравнением прямой при нагреве и логарифмическим уравнением при охлаждении с высоким уровнем достоверности. Логарифмическая зависимость ЧСС от изменения температуры при её снижении объясняется тем, что изменение температуры при понижении также описывалась логарифмическим уравнением (не удалось достигнуть линейного снижения данного фактора). Главное, на что хотелось бы обратить внимание – это бимодальное распределение реакции сердечной системы на изменение температуры в каждой возрастной группе. В каждой размерной группе часть моллюсков, назовём их мидии первого типа (М1), показывают значительно более высокую Ткрит по сравнению с другими животными (назовем их мидиями второго типа (М2)). Разница между Ткрит у М1 и М2 варьировала от 3.2 до 4.6ºС в зависимости от возраста.

Еще один интересный факт, который показала наша работа, заключается в изменении показателей дисперсии ЧСС. В данном случае также наблюдается бимодальное распределение во всех экспериментах. У М1 происходил резкий рост дисперсии во время падения ЧСС после Ткрит с последующим понижением только при восстановлении сердечной активности. У М2 же рост дисперсии происходит дважды: первый – в момент достижения Ткрит (с последующим резким снижением к первоначальным показателям) и второй – во время восстановления сердечной активности (также с последующим резким падением).

Относительно высокий уровень сердечной активности мидий при нулевых температурах можно объяснить адаптационными возможностями беломорских мидий, которые в зимнее время выдерживают температуры до -1.6ºС в сублиторали и до -10ºС на литорали. К примеру, у мидий Атлантики в аналогичных условиях сердцебиения прекращались (Braby, Somero, 2006). Линейная зависимость ЧСС мидий от изменения температуры хорошо согласуется с ранее проведенными экспериментами (Sommerville, 1975).

Наиболее интересным результатом нашей работы можно считать бимодальное распределение мидий на основе реакции сердечной системы на изменение температуры. Создается впечатление, что мы оценивали два разных вида моллюсков: один – более устойчивый к высоким температурам; другой – менее устойчивый. На первый взгляд – гипотеза вполне оправданная, если учесть, что в последнее десятилетие доказано проникновение в Белое море инвазивного вида мидий *Mytilus trossilus* (Katolikova et al., 2016; Khaitov et al., 2018). С другой стороны, проведенные ранее эксперименты с мидиями Чупинской губы показали, что субстратные (аквакультурные) мидии, как правило, относятся к виду *Mytilus edulis* (Bakhmet et al., 2022), а именно такие моллюски были использованы в настоящей работе. Следовательно, вопрос остается открытым. Более сложным для объяснения следует считать показатели дисперсии. Причина такого нестандартного результата неясна.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0007).

Межсезонная динамика и филогенетическое разнообразие цианобактерий рода *Synechococcus* в Белом море

Т.А. Белевич[1*], И.А. Милютина[2], О.В. Воробьева[1], А.В. Троицкий[2]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;
[2]НИИ Физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского, Москва, Россия.
*E-mail: 3438083@list.ru

Белое море характеризуется высокой скоростью водообмена с Баренцевым морем, а также находится под влиянием речного стока трёх крупных рек — Северной Двины, Онеги и Мезени. Это оказывает существенное влияние на экосистему в целом, включая состав и структуру сообществ фитопланктона. Цианобактерии рода *Synechococcus* относятся к пикофракции фитопланктона, то есть к одноклеточным фотосинтезирующим организмам с размером клеток менее 3 мкм. Гидрологические условия позволяют предположить, что разнообразие пикоцианобактерий (ПЦБ) в Белом море определяется поступлением трансформированных вод Баренцева моря и речным стоком. Межсезонная динамика филогенетического состава ПЦБ рода *Synechococcus*, их численность и вклад в общую биомассу пикофитопланктона летом, осенью и зимой, а также роль пикофитопланктона в суммарной первичной продукции ($ПП_{сум}$) фитопланктона были исследованы в Белом море. Ввиду отсутствия в базе данных NCBI последовательностей *Synechococcus*, характерных для вод Баренцева моря, для филогенетического анализа были дополнительно использованы ранее собранные образцы из данного региона.

Материалом для работы послужили пробы воды и льда, отобранные на Беломорской биологической станции МГУ им. М. В. Ломоносова (Кандалакшский залив) в июле 2015 г., сентябре 2016 г. и феврале 2017 г., а также в ходе рейса НИС «Эколог» в Онежском заливе в июне 2015 г. Численность ПЦБ и всего пикофитопланктона в целом определяли методом люминесцентной микроскопии с использованием микроскопа Leica DM1000. Первичную продукцию измеряли с помощью радиоуглеродной модификации метода светлых и тёмных склянок. После экспозиции с меченным по углероду гидрокарбонатом натрия ($NaH^{14}CO_3$) пробы воды последовательно фильтровали через ядерные фильтры с размером пор 3 мкм и мембранные фильтры с размером пор 0.45 мкм.

Для определения филогенетического состава ПЦБ рода *Synechococcus* после выделения тотальной ДНК из проб пикофитопланктона использовали метод клонирования. Были проанализированы библиотеки клонов последовательностей внутреннего транскрибируемого спейсера рДНК (ITS) и гена 16S рРНК. Всего было секвенировано 179 клонов из проб Белого моря и 40 клонов из проб Баренцева моря.

Цианобактерии рода *Synechococcus* были обнаружены во все исследованные сезоны и в различных биотопах — воде, подлёдной воде и льду. Самая низкая численность ПЦБ была выявлена в подлёдной воде и варьировала от 0.2 до 0.3 × 10^6 клеток/л, тогда как наиболее высокая численность была зарегистрирована в июле и составляла 5.2–16.7 × 10^6 клеток/л. Средняя биомасса ПЦБ в подлёдной воде составляла 0.12 мкг С/л, а в июле — 4.78 мкг С/л. Вклад ПЦБ в общую биомассу пикофитопланктона был высоким и достигал 75% в подлёдной воде (февраль), 77% осенью (сентябрь), 85% во льду (февраль) и 97% летом (июль).

Величины $ПП_{сум}$ существенно различались в разные сезоны. Наибольшие значения $ПП_{сум}$ наблюдались в июле, в условиях полярного дня и высокой температуры воды, и составляли в поверхностном слое 75.13 мг С/м³ в сутки. Зимой, в подлёдной воде, когда продолжительность светового дня не превышала 6 ч, значения $ПП_{сум}$ были минимальными и составляли 0.35 мг С/м³ в сутки. Аналогичная тенденция была выявлена и для первичной продукции пикофитопланктона ($ПП_{пико}$): её значения снижались от июля к февралю, составляя 11.32 и 0.22 мг С/м³ в сутки соответственно. Однако относительный вклад $ПП_{пико}$ в $ПП_{сум}$ увеличивался с

15% летом до 63% зимой. Средняя удельная скорость роста пикофитопланктона была максимальной осенью, тогда как зимой она была ниже 1 деления в сутки.

В составе ПЦБ Белого моря было идентифицировано 14 филотипов, девять из которых относились к различным представителям рода *Synechococcus*. Остальные филотипы, согласно данным базы NCBI, были отнесены к некультивируемым цианобактериям (uncultured cyanobacteria). Филогенетический анализ библиотек клонов гена 16S рРНК и ITS-региона из Белого и Баренцева морей выявил ПЦБ, связанные с морскими субкластерами *Synechococcus* 5.1-I, 5.1-IV, 5.2 и 5.3. Представители *Synechococcus* S5.1-I были выявлены как в Белом, так и в Баренцевом морях и постоянно присутствовали в составе сообществ пикофитопланктона в течение всего года. Представители S5.1-I преимущественно встречаются в прибрежных, умеренных и холодноводных районах, расположенных выше 30° с. ш. или ниже 30° ю. ш., и демонстрируют высокую устойчивость к низким температурам.

Synechococcus субкластеров 5.2 и 5.3 появлялись в сообществе ПЦБ только в летние месяцы, когда увеличивались речной сток и температура воды. Это позволяет предположить, что представители *Synechococcus* этих субкластеров могут иметь речное происхождение и быть адаптированными к более высоким температурам. Более высокая температура поверхностных вод, низкая солёность и благоприятные световые условия в период полярного дня создают условия для развития филотипов субкластеров 5.2 и 5.3 в летний сезон в Белом море. Представители *Synechococcus* субкластера 5.1-IV были выявлены только в Баренцевом море и не обнаружены в Белом море. Ранее было показано, что численность *Synechococcus* S5.1-IV снижается при уменьшении солёности. Это позволяет предположить, что представители данного субкластера обладают низкой толерантностью к широкому диапазону солёности и поэтому могут не сохраняться в условиях Белого моря.

Быстрое потепление климата может привести к увеличению численности ПЦБ в полярных регионах и росту разнообразия *Synechococcus* за счёт появления представителей, характерных для более умеренных климатических условий.

В дополнение к ранее известным филотипам *Synechococcus* в пробах Белого моря был выявлен один уникальный филотип, демонстрировавший лишь 84% сходства с ранее описанной последовательностью (HQ724261). Это может быть связано с редкой встречаемостью уникальных филотипов; для подтверждения данной гипотезы необходимы дальнейшие исследования разнообразия ПЦБ.

Полузакрытое субарктическое Белое море особенно уязвимо к последствиям изменения климата. Повышение температуры поверхностных вод и увеличение речного стока могут способствовать росту вклада цианобактерий, особенно в осенне-зимний период, когда численность микро- и нанофитопланктона снижается. Именно зимой пикофитопланктон, около 85% биомассы которого составляют цианобактерии, обеспечивает более 60% общей первичной продукции. Первичная продукция пикофитопланктона зимой может обеспечивать пищевые ресурсы для микрозоопланктона в период низкой общей продуктивности. Это согласуется с высоким таксономическим разнообразием и численностью мелких гетеротрофных организмов, выявленных в данный период.

Таким образом, сезонные изменения в составе ПЦБ могут быть связаны с двумя основными источниками их поступления в Белое море: водами Баренцева моря и речным стоком. Поступление холодных вод Баренцева моря может способствовать постоянному присутствию в Белом море представителей *Synechococcus* S5.1-I, обладающих высокой устойчивостью к низким температурам. Летом речной сток обогащает сообщество цианобактериями, представленными теплолюбивыми и более толерантными к низкой солёности филотипами *Synechococcus* 5.2 и 5.3.

Работа выполнена в рамках Государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова часть 2 темы 121032300135-7, 121032300131-9 и НИИ ФХБ имени А.Н. Белозерского тема 123063000008-9.

Рост колониального гидроида *Dynamena pumila*
(Linnaeus, 1758) при повышенной температуре воды

Д.Г. Битт*, Н.Н. Марфенин
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия.
*E-mail: d_pumila@mail.ru

В последние десятилетия отмечен устойчивый тренд на повышение среднемесячных летних температур поверхности Белого моря до 0.5 – 2ºС за десять лет (Салинг и др., 2026; Баталкина и др., 2026; Алексашина, 2023; Толстиков, 2006), что согласуется с данными CMIP6 и других исследований, которые прогнозируют потепление поверхности воды в регионе на величины до 4ºС за столетие (Carvalho et al., 2022). В свете этим, актуальны исследования возможности адаптации арктических видов к повышенным температурам.

Dynamena pumila (Linnaeus, 1758) – массовый беломорский вид гидроидов, обрастатель фукоидов верхней сублиторали, способный возобновлять рост после осушения при отливе, восьмичасового распреснения с 26 до 20‰ (Марфенин, 1971; Дементьев, Марфенин, 2018). Вид является модельным объектом в исследованиях морфогенеза и экспрессии генов (Kosevich, Fedosov, 2008; Bagaeva et al., 2019; Черданцев, Краус, 1996). Максимальная скорость роста у *D. pumila* отмечена при 15 ºС, а летальная температура в эксперименте 28 ºС. Ранее было установлено, что модельные колонии из 2-3 побегов выживают 5 суток при 23 – 25 ºС (Марфенин, Дементьев, 2019; Марфенин, Дементьев, Николаев, 2023).

В нашем исследовании впервые показана реакция характеристик роста колоний *D. pumila* на непрерывный сублетальный нагрев (22-25 ºС) в течение 12 суток. О росте колонии судили по изменению количества и размеров её повторяющихся органов: числа модулей побегов, числа и длины столонов, соотношения длины главного и боковых столонов, доли частей столонов, лишённых мягких тканей.

Колонии на стеклянных пластинах 9х12 см выращивали из побегов длиной 10 – 12 модулей, собранных 06.06.2025 на сублиторали Еремеевского порога пролива Великая Салма Белого моря близ ББС МГУ (66.552116, 33.115992) при температуре воды ≈8.3 ºС. До прирастания к стёклам и начала эксперимента колонии содержали при 14 – 15 ºС. Колонии содержали при активной аэрации в 20-литровых аквариумах с натуральной водой из моря, воду заменяли ежедневно на половину объёма и раз в 4 суток полностью. Колонии кормили ежедневно науплиями артемии, равномерно повышая их концентрацию с 0.75 до 3 науплиев на мл до 20 июня, а затем удерживали её на уровне 2.5 ± 0.5 науплиев на мл. При смене воды с последующим кормлением температура кратковременно снижалась на несколько градусов и восстанавливалась в течение 2 – 4 часов до сублетального уровня, что соответствует изменению температуры в ходе прилива и отлива. Измерения показателей проводили для каждой колонии с интервалом в четверо суток в непроточных кюветах. Продолжительность регистрации от 5 – 10 до 30 – 40 мин в зависимости от размера. В эксперименте 2 серии: [К] – контроль при 14 – 15 ºС (10 колоний); [Т] – термошок при 24.5 –25.5 ºС (12 колоний). Эксперимент продолжался в течение 23 суток: с 11.06.25 по 3.07.25, включая 2 этапа: «А» до 19.06.25 – повышение температуры в серии [Т]; и «Б» с 19.06.25 по 3.07.25 – сублетальный термошок в [Т].

Результаты опыта рассмотрены поэтапно. На этапе «А» длина гидроризы в [К] увеличилась с 2.5 ± 0.2 до 32.4 ± 4.3 мм (среднее ± стандартная ошибка среднего), а в [Т] с 3.4 ± 0.3 до 22.5 ± 4.2 мм. На этапе «Б» длина гидроризы достигла в [К] 109.6 ± 13.9 мм и в [Т] 28.8 ± 5.6 мм. Средний прирост гидроризы в [Т] был в первые 4 суток 8.5 ± 1.3 мм/4 сут, а в следующие 4 суток 10.8 ± 2.6 мм/4 сут, после чего снижался до 0.4 ± 0.2 мм/4 сут к концу учёта. В [К] прирост увеличился с 9.2 ± 1.1 до 29.6 ± 5.3 мм/4 сут к 27 июня, за следующие 4 сут снизился до 22.1 ± 8.26 мм. К окончанию «А» отношение длин боковых и главного столона составляло 0.09 ± 0.06 в [К] и 0.16 ± 0.04 в [Т] после нагрева до 22 ºС, по достижении 24ºС 19 июня в [К]

оно достигало 0.86 ± 0.22 по сравнению с 0.36 ± 0.09 в [Т]. К концу этапа «Б» в [К] появились ветви второго порядка, и отношение длин ветвей и главного столона составило 2.00 ± 0.29 для ветвей I порядка и 0.03 ± 0.02 для II; в [Т] ветвей II порядка не появилось, отношение длин ветвей I порядка к длине главного столона возросло до 1.35 ± 0.34. Доля пустых участков столона, не заполненных ценосарком, которая в [К] и [Т] в начале эксперимента была нулевой, в [К] стала отличной от нуля (0.002 ± 0.002) к 25 июня и значимо не изменилась к концу измерений (0.002 ± 0.002), при этом в [Т] составила 0.07 ± 0.04 к 15 июня, 0.04 ± 0.03 к концу «А» и 0.11 ± 0.04 к концу «Б». Пик прироста числа столонов в [К] пришёлся на 21 июня, где составил 3.7 ± 0.5 столонов за 4 суток, и на 19 июня в [Т], где составил 0.7 ± 0.4 столона за 4 суток. При этом к концу «Б», когда наблюдалось рассасывание столонов, некоторые ветви столонов при нагреве рассосались полностью.

Среднее число модулей побегов возросло в [К] с 17.0 ± 2.8 до 31.8 ± 4.1 в материнских и от нуля до 9.7 ± 1.0 в дочерних побегах к концу «А» и до 36.7 ± 4.1 в материнских и 73.1 ± 10.5 в дочерних побегах к концу «Б». При нагреве среднее число модулей возросло с 17.8 ± 2.0 до 24.3 ± 3.4 в материнских побегах и от нуля до 12.8 ± 2.5 в дочерних побегах за период «А» и до 24.8 ± 3.5 в материнских и 18.4 ± 3.2 в дочерних побегах к окончанию «Б». При этом пик прироста всех побегов в [К] пришёлся на 29 июня и составил 26.9 ± 5.3 модуля за 4 суток, а в [Т] – на 19 июня и составил 10.8 ± 2.6 модулей за 4 суток. Исходно некоторые материнские побеги содержали половые модули (гонотеки) – в среднем по 2 ± 1 в [К] и 1.4 ± 0.24 в [Т]. К концу этапа «Б» в [К] произошёл их незначительный прирост, а в последние 4 суток – полное рассасывание, при этом в [Т] их стало в среднем 1.8 ± 0.37. Прирост гонотек при нагреве происходил за первые 4 суток этапа «А», затем их число в серии не менялось.

Колонии при нагреве продемонстрировали сравнимую с таковой в контрольных условиях способность к активному росту при температурах 15 – 22 ºС, по достижении 24 ºС рост всех частей колонии останавливался, начиналось рассасывание столонов, которое приводило к потере новообразованных боковых столонов. При этом колонии сохраняли жизнеспособность. Ветвление столонов при нагреве до 22 ºС оказывалось интенсивнее, чем в контроле, однако при 24.5 – 25.5 ºС колонии уже не образовывали ветви столонов следующего порядка. Число дочерних побегов при сублетальном нагреве возрастало, но, в отличие от контрольных условий, не превысило числа материнских побегов, которое значимо не менялось с начала сублетальной экспозиции. Таким образом, нами получены данные о темпах роста гидроидов условиях, приближенных к естественным условиям обитания вида и при повышенных температурах. Колонии в отсутствие акклимации к повышенным сублетальным температурам обладают способностью к длительному выживанию и ограниченному росту структур.

Исследование выполнено в рамках научного проекта государственного задания МГУ № 126021717480-3.

Зависимость температуры и солёности воды в меромиктических озёрах Кандалакшского залива от степени их отделения от акватории Белого моря

А.В. Булохов[1]*, Д.Ф. Будько[1], Е.Д. Краснова[2]

[1]Институт Океанологии РАН им. П.П.Ширшова, Москва, Россия;

[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия.

*E-mail: vincentrmsne@rambler.ru

Отделение заливов от основной морской акватории, обусловленное гляциоизостатическим поднятием региона, характерно для обширной части береговой зоны Кандалакшского залива Белого моря. Важной особенностью образовавшихся таким образом соленых озёр является наличие устойчивой стратификации вод в течение продолжительного периода: нижний, более солёный слой, состоящий из реликтовой морской воды, и верхний распреснённый слой, образованный пресными водами из осадков и талых вод прилегающей территории. На ранней стадии отделения формируются лагуны с суточным затоком/оттоком воды через неглубокие перешейки из-за приливно-отливных течений. На конечной стадии отделения водоем полностью опресняется. Наблюдение за переходом таких объектов в разряд пресноводных водоёмов интересно с точки зрения изучения процесса постепенной трансформации находящихся в них морских экосистем.

Предыдущие исследования гидрологических характеристик вод данных озёр (t^o и s, ‰) проводились методом взятия проб непосредственно с выходом на лодке либо в зимнее время по льду. Такие исследования имели дискретный характер, и не отражали полной картины годового хода температуры и солёности (особенно в периоды межсезонья).

Для непрерывного отслеживания данных показателей воды в течение всего года нами были впервые установлены автономные самописцы (логгеры), на притопленных станциях. Для сравнения гидрологических показателей, были выбраны 3 водоёма Кандалакшского залива на разных стадиях отделения от основной морской акватории. Стоит отметить, что в данном регионе наблюдаются довольно ощутимые приливно-отливные процессы, оказывающее порой значительное действие на исследуемые водоёмы.

А – Кутовая часть губы Кислой – морской залив Белого моря ковшового типа с подводным порогом во внешней части, при дальнейшем поднятии которого возможно отделение губы и переход в закрытый водоём. На данный момент показатели гидрологических характеристик воды, в т.ч. их распределение по глубине, не отличаются от прилегающей акватории моря.

Б – Лагуна на Зелёном мысе – водный объект, соединённый с морем через перешеек, через который в прилив/отлив наблюдается течение воды в/из водоёма. Также фиксируется квазипостоянная стратификация вод в наиболее глубокой части лагуны.

В – Оз. Кисло-Сладкое – отделившийся водоем с меромиктической структурой водной толщи. Заход морской воды в озеро через порог происходит изредка, в сигизийные приливы или штормовые нагоны. Поверхностный слой до 0.5 м. опреснён (20-22‰ в зависимости от сезона). Нижележащий слой воды имеет солёность до 25‰ и выше.

Логгеры Star-Oddi DST CT (Исландия) измеряли температуру и соленость воды один раз в час в течение года с июня 2023 по июнь 2024 гг. Глубины, на которых логгеры были установлены: 3 м. для Кислой губы (общая глубина – 13 м.), 2.5 м. в Лагуне на Зелёном мысе (общая глубина – 6.5 м.), 1.5 м. на Кисло-Сладком озере (общая глубина – 4.5 м.)

Полученные данные измерений за весь годовой период могут свидетельствовать о следующем:

– по мере отделения от основной морской акватории, температура водоёмов становится выше, что связано с уменьшающимся водообменом с морем. Так, для Кисло-сладкого озера t^o воды в среднем на 6-8 градусов выше морской, для лагуны на Зелёном мысе – на 1-2 градуса.

– амплитуда температурных колебаний также несколько выше для полностью отделённого Кисло-Сладкого озера, что связано с более интенсивным прогревом изолированного водоема в летний период.
– однако амплитуда и частота колебаний температур во всех трех водоёмах имеют общие черты, что говорит уже о большей зависимости водных объектов от атмосферных процессов. Эффект сглаживания (или инертности) температуры морскими водными массами из открытой акватории проявляется уже не так сильно даже для связанных с ними водоёмов – Кислой губы и Лагуны на Зелёном мысе. Единственный раз за период измерений характер изменения температуры Кислой губы и Лагуны на Зелёном мысе отличался (постепенное охлаждение в октябре – ноябре) от отделившегося Кисло-Сладкого озера (удержание стабильной температуры) – здесь наблюдалось влияние пришедших сильно охлаждённых морских вод.
– значения солёности для отделившегося Кисло-Сладкого озера в течение всего года ожидаемо были ниже, однако и амплитуда колебаний была несколько ниже, в основном, за счёт уже имеющихся более низких значений, а также отсутствия внутреннего турбулентного перемешивания.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Беломорской биологической станции МГУ им. Перцова за помощь в проведении исследований. Работа выполнялась в рамках государственного задания, тема № FMWE-2024-0020.

Биогеографические связи бореально-арктических моллюсков надотряда Sacoglossa (Gastropoda: Heterobranchia)

Д.А. Власова[1], И.А. Екимова[2], М.В. Становова[1]

[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;*
[2]*Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия.*
*E-mail: dasjones40@gmail.com

Надотряд Sacoglossa – это относительно небольшая группа брюхоногих моллюсков, с около 300 описанными видами. Моллюски этой группы морфологически очень гетерогенны, встречаются раковинные и безраковинные представители. Безраковинные могут иметь на дорсальной стороне цераты или же их нога преобразована в параподии. В бореальных и арктических морях России обитают только ceратоносные представители (надсемейство Limapontioidea), по последним данным их 12 видов, 3 из которых встречаются в Белом море: *Alderia modesta, Placida dendritica, Limapontia senestra*.

Практически все представители Sacoglossa питаются водорослями, за счет чего приобретают криптическую окраску, а иногда в качестве защиты используют вторичные метаболиты водорослей. Из-за отсутствия ярких апоморфий, ceратоносные сакоглоссы представляются проблематичной группой для таксономических исследований. Кроме того, последние исследования с привлечением молекулярных данных показали, что многие виды сакоглосс представляют собой криптические комплексы видов. Все исследования Sacoglossa в России носят фрагментарный характер, а недостаток морфологических и генетических данных скрывает истинное биоразнообразие в регионах. Таким образом, целью данной работы стало проведение современной ревизии моллюсков надотряда Sacoglossa в морях России с фокусом на разнообразие и филогенетические связи беломорских представителей этой группы.

Материал был собран в акваториях Белого, Баренцева, Японского и Охотского морей, в период с 2004 по 2024 год. Беломорский материал включал 11 экземпляров *Alderia modesta* (велигеры и взрослые особи), 61 экземпляр *Placida dendritica* (взрослые особи) и 20 экземпляров *Limapontia senestra* (взрослые особи). Материал собран в 2021 и 2024 году в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ имени Н.А. Перцова, а также в 2019 году в окрестностях о. Средний, губы Яковлева. Внешняя и внутренняя морфология особей была исследована с помощью световой и сканирующей электронной микроскопии. Также был проведен молекулярно-генетический анализ и получены последовательности цитохром-с-оксидазы (COI), 16S рРНК, 28S рРНК, 18S рРНК и гистона H3. Для видов *Placida dendritica* и *Alderia modesta* было проведено исследование популяционно-генетического разнообразия на основе последовательностей гена COI, с использованием собственных последовательностей, а также с использованием данных из баз данных GenBank и BOLD и по этим данным были построены сети гаплотипов.

Наши данные подтверждают, что виды *Alderia modesta* и *Placida dendritica* представляют собой комплексы видов. Сеть гаплотипов по гену COI для *Alderia modesta* показала две различные гаплогруппы, одна из которых объединяет образцы из Арктики и северной части Атлантического Океана, а другая включает образцы из северно-западной части Тихого Океана и по-видимому относится к недавно описанному из северо-восточной Пацифики виду *Alderia harvardiensis*. Данные гаплогруппы отличаются на 36 замен. Типовое местообитание *Alderia modesta* – побережье Швеции, и конспецифичность арктических и атлантических образцов свидетельствует о принадлежности беломорских образцов именно к этому виду. Тихоокеанский вид *Alderia harvardiensis* также демонстрирует небольшие морфологические отличия от *A. modesta*, а видообразование в данном случае по-видимому происходило аллопатрически вследствие миграции фаун через Берингов Пролив.

Сеть гаплотипов по гену COI для *Placida dendritica* демонстрирует 5 различных гаплогрупп отличающихся друг от друга на от 14 до 47 замен. Образцы из Белого и Баренцева морей

попадают в единую гаплогруппу, которая отличается от вида *Placida babai*, распространённого в Японском, Южно-китайском и Филлипинском морях. В более ранних исследованиях для вида *Placida dendritica* предполагалось широкое распространение, однако, наши результаты подтверждают гипотезу о том, что *Placida dendritica* является комплексом псевдокриптических и криптических видов. При этом различия в географическом распространении отдельных видов могут свидетельствовать об аллопатрическом видообразовании этих форм.

Работа выполнена в рамках госзадания Сахалинского государственного университета (тема № FEFF-2026-0009).

Опыт эксплуатации и совершенствования батометрической кассеты NAECO по результатам работы в Белом море

В.С. Возженникова, С.В. Кулешов, Т.Ю. Шемякин, Л.Л. Кулаков

АО «Морские неакустические комплексы и системы», Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: info@naeco.ru

Отбор проб воды с различных горизонтов остаётся одной из базовых задач океанологических и гидробиологических исследований, и надёжность используемого для этого оборудования напрямую влияет на достоверность получаемых результатов. По данным хронометража судовых операций на зарубежных научно-исследовательских судах, работы на станциях с СТД-зондами и отбор батометрических проб в сумме занимают более 40 % экспедиционного времени без учёта переходов. Сложившийся парк пробоотборной техники сформирован зарубежными изделиями: кассеты типа ROSETTE фирмы General Oceanics и близкие к ним по конструкции изделия Sea-Bird Electronics и Falmouth Scientific стали в океанологической практике фактическим стандартом, а батометры Нискина получили наиболее широкое распространение. Габариты таких кассет ориентированы на крупнотоннажные суда — диаметр серийных моделей достигает 2.1 м при массе без батометров, и, соответственно, проб воды, до 341 кг. Для малотоннажных судов, где высота кран-балки ограничивает вывод кассеты за борт, производителями выпускаются отдельные компактные исполнения, диаметр которых, тем не менее, не бывает меньше метра.

Российские научные организации до сих пор использует батометрические системы зарубежного производства, при этом механизмы доставки такого рода техники, для обновления парка, не всегда способны справится с запросом конечного пользователя.

В этой связи особую актуальность приобретает не только разработка отечественных технических решений, но и передача накопленного научным экспедиционным сообществом опыта использования иностранных образцов предприятиям промышленности, ориентированным на обеспечение полного жизненного цикла своей продукции: от анализа требований заказчика, согласованного выбора оптимальных конфигураций системы, разработки и производства, до ввода в эксплуатацию готового оборудования, сервисной поддержки и консультирования.

В рамках статьи рассматривается опыт отечественного производителя по сопровождению эксплуатации и совершенствованию батометрических кассет.

Линейка батометрических кассет NAECO в настоящее время рассчитана на конфигурацию от 4 до 24 батометров и работу на глубинах до 2000 метров, что позволяет подбирать решение под конкретное судно-носитель – от полноценного океанографического комплекса до компактной сборки, пригодной для работы с малого плавсредства.

Работа над батометрическими кассетами строилась как последовательность лабораторных проверок, доработок конструкции и оценки результатов в эксплуатации. На первом этапе оценивалось влияние конструкционных материалов батометра на чистоту отбираемой пробы. Согласно отчёту предприятия 2018 года, составные части батометра – труба, крышки и резиновые кольца – раздельно выдерживались в равных объёмах воды в течение двух часов, после чего флюоресценция проб измерялась на анализаторе флюориметрическом NAECO ПИАКОН-11. Установлено, что основное влияние оказывали крышки, изготовленные из капролона: они повышали концентрацию флюоресцирующих веществ в среднем до 0.02 мг/л, что составляет половину нижней границы диапазона определяемых концентраций нефтепродуктов (0.04 – 0.9 мг/л) и сопоставимо с погрешностью измерения на этом участке диапазона. Влияние резиновых колец оказалось существенно слабее – около 0.007 мг/л, тогда как материал трубы заметного вклада не вносил. По результатам испытаний были проведены работы по замене материала крышек.

Для определения стоимостных характеристик в 2023 проводилось сравнение с зарубежными

аналогами. Ручные батометры NAECO из поликарбоната и полипропилена при сопоставимых объёме и габаритах оказались заметно дешевле зарубежных изделий производства США, Германии и Испании. Фторопласт, применяемый в отдельных пробоотборных системах, обеспечивает химическую стойкость, минимальную пористость и гидрофобность, тогда как большинство зарубежных решений выполнено из поливинилхлорида и полиоксиметилена. Полный цикл разработки, производства и сервисного сопровождения выполняют российские предприятия, поэтому эксплуатация не зависит от зарубежных поставок запасных частей и обслуживания – это особенно важно для оборудования, работающего в длительных морских экспедициях.

С 2023 года по настоящее время батометрическая кассета NAECO эксплуатируется Зоологическим институтом РАН в Белом море на Беломорской биологической станции «Картеш». Рекомендации эксплуатирующей организации использовались как исходные данные для последующих доработок: усовершенствован механизм съёма и установки батометров, заменены материал колб, сливные и воздушные краны, резиновые уплотнители и лески крепления, программное обеспечение переведено на платформу Android с доработкой алгоритмов закрытия и пользовательского интерфейса.

Конструктивные решения, доработанные по результатам беломорских работ, прошли проверку в океанских условиях. В ходе 69-го рейса ПС «Академик Иоффе» в северной и центральной части Атлантического океана в октябре – декабре 2024 года выполнено пять постановок батометрической кассеты на различных горизонтах, включая глубину 2000 метров, с контролируемым закрытием крышек батометров; смешивания воды из разных горизонтов не зафиксировано. Отдельный батометр из состава кассеты произвёл отбор пробы с глубины 4800 метров в составе розетты ИО РАН, что подтвердило работоспособность конструкции при значительных гидростатических нагрузках и её совместимость с эксплуатируемым научными организациями оборудованием. Кассета применялась также при зондировании на плато Грейт Метеор. По результатам рейса определены дальнейшие направления совершенствования механизмов закрытия батометров и слива проб. Помимо этого, предложенные ЗИН РАН новации прошли техническую апробацию в экспедиция РГО по Северным морям, рейсах НИС «Профессор Водяницкий» по Черному морю и работах на озере Байкал.

Весьма показательно, что эволюционное развитие техники, рассмотренное на примере отечественной батометрической кассеты, обеспечивается не только конструктивными решениями на этапе разработки, но и последующим циклом контроля производства и эксплуатации, включающим взаимодействие изготовителя с эксплуатирующей организацией. Батометрическая кассета продолжает применяться в Белом море, а значит, будут новые рационализаторские предложения, которые помогут повысить эффективность использования по назначению. Благодаря сотрудничеству промышленности и науки, изготовителя и эксплуатанта, потребительские свойства продукции будут улучшаться, повышая конкурентоспособность на внутреннем рынке благодаря качеству изделия, а не административному регулированию.

Межгодовые флуктуации в успешном пополнении поселений беломорских двустворчатых моллюсков: причины и следствия

А.В. Герасимова*, Н.В. Максимович, Н.А. Филиппова
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: agerasimova64@mail.ru

Долговременные (на протяжении почти 40 лет) наблюдения за динамикой поселений девяти видов двустворчатых моллюсков, выполненные на Учебно-Научной базе СПбГУ в Белом море (устье губы Чупа, Кандалакшский залив), показали, что, как правило, многолетняя стабильность их размерно-возрастного состава не является характерной чертой и существенные колебания в структуре поселений имеют место даже в относительно неизменных условиях окружающей среды. Основные причины отсутствия стационарности структуры анализируемых поселений Bivalvia, очевидно, связаны с межгодовыми вариациями объемов пополнения. В данной работе количество особей, пополнивших поселения моллюсков в предыдущем году и почти достигших возраста одного года к моменту исследования («сеголетки»), рассматривали как показатель успешности пополнения. В нескольких случаях пополнение поселений могло частично (или практически полностью) происходить в результате миграций особей на других стадиях развития - постларвальные перемещения, характерные для многих видов моллюсков (н-р, в поселениях *Mytilus edulis*). Количество таких особей аналогично относили к характеристике успешности пополнения.

Выявленные перерывы в успешном пополнении изученных поселений Bivalvia достигали от 2 до 37 лет. Маловероятно, что межгодовые колебания объемов пополнения были определены межгодовыми вариациями в репродуктивном успехе популяций. Специальные наблюдения за репродуктивным циклом и структурой личиночных гемипопуляций нескольких массовых видов двустворчатых моллюсков в губе Чупа показали, что режим гидрологического лета Белого моря достаточно благоприятен для размножения изучаемых видов Bivalvia, а их личинки (при развитии с метаморфозом) практически ежегодно были отмечены в составе летнего планктона рассматриваемого района. Редкие случаи неудачи с нерестом моллюсков в отдельные годы наблюдений (например, в поселениях *Arctica islandica*) из-за неблагоприятных климатических условий конкретных сезонов скорее следует рассматривать как исключение, а в качестве ключевых факторов успешного пополнения анализируемых поселений Bivalvia (молодью или особями других стадий развития) мы предполагаем условия формирования пополнения и его выживание в течение первого года.

В целом, не удалось связать межгодовые различия объемов пополнения в поселениях моллюсков с изменениями в окружающей среде (в гидрологическом режиме акватории, характере донных отложений), хотя в литературе неоднократно описывалась связь выше названых явлений. За все время наблюдений существенных вариаций основных гидрологических и климатических характеристик (температуры воздуха и воды, солености воды) в районе исследований, в характеристиках донных отложений исследованных местообитаний не обнаружено. В изученных поселениях Bivalvia очередное успешное пополнение, как правило, совпадало по времени с существенной (или почти полной) элиминацией представителей прежде доминирующих генераций. Поэтому в качестве основной гипотезы было принято, что отмеченные межгодовые колебания объемов пополнения могли быть отражением известных для двустворчатых моллюсков конкурентных отношений взрослых и молодых особей. В пользу высказанного предположения, по-видимому, свидетельствовали и выявленные случаи асинхронности развития нескольких поселений

одного вида, когда в один и тот же сезон в разных местообитаниях доминировали особи разных генераций. В результате межгодовых колебаний в уровне пополнения в поселениях Bivalvia на протяжении нескольких лет доминировали представители 1-2 генераций. В зависимости от степени напряженности внутривидовых отношений и успешности пополнения мы наблюдали формирование как практически моновозрастных скоплений, так и поселений, где очередное успешное пополнение отделено парой-тройкой годов от предыдущего, т.е. новая генерация оккупирует местообитание еще до существенной элиминации ранее доминирующего поколения.

Периодическую смену доминирующих поколений можно было бы рассматривать с точки зрения проявления цикличности в развитии поселений. Однако перерывы в успешном пополнении часто превышали продолжительность эффекта доминирования генераций. Низкая численность особей других возрастов не была гарантией увеличения объема пополнения в изученных местообитаниях. По-видимому, успешность пополнения поселений определена не только отношениями взрослых и молоди, но и особенностями выживания моллюсков в течение первых лет жизни. В ходе наблюдений неоднократно отмечено почти полное исчезновение отдельных поколений за первую зиму, несмотря на обнаруженный в конце лета-начале осени предыдущего года в массе осевший спат. Для отдельных видов (например, *Macoma balthica*) критическими были даже несколько первых лет (2-3 года). Очевидно, мы не в состоянии предсказать успешное пополнение поселений Bivalvia лишь из анализа размерно-возрастной структуры поселений и количества только что осевшего спата. Не меньшую важность в пополнении поселений играют постларвальные процессы, в результате которых даже при высоком уровне оседания спата вклад отдельных генераций в численность поселений Bivalvia может быть крайне мал. Причины повышенной ранней смертности в популяциях гидробионтов разнообразны и могут включать нарушения в развитии, физиологический стресс, физическое воздействие окружающей среды, хищничество, конкуренцию, паразитизм (Hunt, Scheibling, 1997). Как правило, именно хищничество многие исследователи рассматривали в роли основного биотического фактора, регулирующего численность Bivalvia на ранних стадиях, а другие факторы, например, внутривидовые отношения, имели второстепенное значение. У нас нет серьезных оснований предполагать существенную роль межвидовых отношений в колебаниях численности пополнения в анализируемых поселениях Bivalvia в Белом море. За время наблюдений серьезных изменений в биотическом окружении изучаемых видов не наблюдалось. Исследования структуры донных сообществ на участках с развитыми поселениями *Mya arenaria*, которые отличались наиболее резко выраженными колебаниями в уровне пополнения, показали, что известные для данного вида хищники (креветки, крабы, камбалы) не были представлены совсем или крайне малочисленны. Более вероятной причиной низкой выживаемости молоди Bivalvia в Белом море в течение первого года жизни представляются суровые условия окружающей среды в холодный (зимний) период, и для обитателей литорали это, прежде всего, ледовый режим. В течение перерывов в успешном пополнении (иногда на протяжении десятилетий), столь характерных для большинства изученных поселений Bivalvia, межгодовые смещения в размерной и возрастной структуре поселений определены в основном скоростями линейного роста и элиминации особей доминирующих генераций. Специфика этих процессов в условиях локальных биотопов и на протяжении жизненных циклов Bivalvia практически наравне с особенностями пополнения определяет пространственно-временную гетерогенность структуры поселений.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 24-24-00347, https://rscf.ru/project/24-24-00347/

Сезонная динамика литоральных фораминифер губ Сельдяной и Медвежьей Кандалакшского залива Белого моря

Е.А. Голикова[1]*, Д.А. Аристов[1], М.А. Варфоломеева[2], С.А. Корсун[1]
[1]Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия;
[2]Независимый исследователь.
*E-mail: e.golikowa@spbu.ru

Бентосные фораминиферы являются ключевым компонентом литорального мейобентоса, играющим важную роль в прибрежных экосистемах. Они составляют до 80% биомассы протистов на литорали (Lei et al., 2014), обеспечивают передачу энергии на более высокие трофические уровни (Nomaki et al., 2008; Lintner et al., 2020), регулируют потоки органического углерода и азота, потребляя микроводоросли и детрит (Wukovits et al., 2018).
В субарктическом Белом море фораминиферы являются значимым компонентом мейобентоса (Гальцова и др., 1989; Лукина, 1991). Предыдущие исследования были сосредоточены на сублиторали (Щедрина, 1947, 1955, 1962; Майер, 1962, 1980; Лукина, 1985аб, 1988,1991; Гальцова и др., 1989), тогда как литоральные сообщества оставались не изученными: данные о них были фрагментарны, информация о структуре сообществ, их сезонной и межгодовой динамике отсутствовала. Настоящее исследование продолжает серию наших работ по изучению литоральных фораминифер Белого моря. Ранее нами были описаны состав и структура сообществ литоральных фораминифер в летний период (Korsun et al., 2014; Golikova et al., 2020). Однако роль сезонных процессов в жизни литоральных фораминифер Белого моря, где лёд покрывает литораль в течение нескольких месяцев, остаётся не изученной. Цель нашей работы – выявить закономерности сезонных изменений в сообществах литоральных фораминифер Белого моря.
Исследование проводили на литоральных трансектах бентосного мониторинга ББС ЗИН РАН в губах Сельдяная и Медвежья в марте, мае, августе и ноябре 2015-2017 гг. Пробы грунта объёмом 20 см³ отбирали на трансекте из 4 станций по 3 повторности на илистом пляже в губе Сельдяной и песчаном в Медвежьей. Грунт фиксировали 70% этанолом с красителем бенгальским розовым (2 г/л) для разделения живых и мёртвых фораминифер. Численность живых фораминифер размером 0.125–0.5 мм пересчитывали на 10 см³.
Всего обнаружено 9 видов фораминифер, массовыми из которых были лишь 3: *Miliammina fusca* (агглютинированная раковина), *Ovammina opaca* (моноталамная, органическая раковина), и *Elphidium williamsoni* (секреционная раковина). В обеих губах живые особи присутствовали на всех станциях во все сезоны. Общая численность была стабильно выше в заиленной Сельдяной губе (максимум 419 экз./10 см³), чем в песчаной Медвежьей (максимум 51 экз./10 см³). Зимой подо льдом плотности фораминифер на литорали оставались сопоставимыми с другими сезонами: критического падения численности и элиминации не происходило. Это разительно отличается от марша на границе верхней литорали и суши. Там зимой верхний 2-см слой грунта наглухо вмерзает в подошву сухого припайного льда, что приводит к элиминации живых особей. Единичные живые фораминиферы появляются лишь на глубине 2–3 см, где промерзание слабее (Golikova et al., 2020). Причина в том, что в зимние месяцы на верхнем марше лежит толстая плита сухого льда, смерзшегося с грунтом вместе с растительностью, а приливная вода лишь просачивается в нижележащие слои по капиллярному эффекту. Отрицательные температуры элиминируют живых фораминифер в прилежащих к подошве слоях. На литорали лёд не примерзает наглухо к грунту, а поднимается и опускается дважды в сутки вместе с приливом. Температура воздуха и воды подо льдом не опускается ниже −2°C (Krell et al., 2003; Filatov et al., 2005), а весной, с началом инсоляции, может быть даже выше, чем температура окружающего воздуха (Кузнецов, 1960). Здесь припайный лёд действует как теплоизолятор, поддерживая на литорали постоянную

температуру, и позволяя фораминиферам, как и макробентосу (Naumov, 2013), переживать суровые зимние месяцы.

Для видов-доминантов были отмечены следующие закономерности. *Miliammina fusca* доминировала в обеих губах на всех станциях, пики ее численности приходились на август–ноябрь. Этот вид является детритофагом и бактериофагом (Frail-Gauthier et al., 2019). Летом на литорали происходит бурное развитие микрофитобентоса. Его численность растёт в течение вегетационного периода и достигает максимума к началу осени (Бондарчук, 1974). К концу лета на литорали накапливается значительное количество органического вещества, связанного с развитием и отмиранием микрофитобентоса. Именно этот запас детрита, доступный во второй половине года, по-видимому, и обеспечивает массовое развитие *M. fusca*. В предзимний период (ноябрь), когда фотосинтетические процессы уже угнетены (Scholz, Liebezeit, 2012), деградация и реминерализация накопленной органики продолжаются, поддерживая рост бактериальной биомассы – дополнительного пищевого ресурса *M. fusca*. К марту запас детрита и бактерий постепенно уменьшается, и численность *M. fusca* снижается.

Ovammina opaca, напротив, демонстрировала пики численности в мае. Этот вид питается диатомовыми водорослями (Goldstein, Alve, 2011). В Кандалакшском заливе первое и самое мощное цветение фитопланктона происходит в апреле–мае и связано с таянием прибрежного льда (Ильяш и др., 2003); его основу составляют диатомовые, высвобождающиеся изо льда (Ratkova, Wassmann, 2005). По-видимому, именно они служат обильным пищевым ресурсом для *O. opaca*, что объясняет её майский пик.

Численность третьего домината *Elphidium williamsoni* значительно варьирует, так что выявить закономерности его обилия не удаётся. Этот вид питается преимущественно бентосными диатомовыми и способен к клептопластии, умеет сохранять функционально активные хлоропласты съеденных диатомей в своих клетках и использовать их для фотосинтеза (Jesus et al., 2021). Такой способ питания, по-видимому, снижает зависимость вида от моментального наличия свежего пищевого ресурса, что может отражаться в асинхронном изменении численности.

Для характеристики структуры сообществ обеих губ были рассчитаны индексы разнообразия (видовое богатство S, индекс Шеннона H′, индекс выровненности Пиелу J′). Для проверки различий α-разнообразия между сезонами, локациями и годами с учётом иерархической схемы отбора проб были построены обобщённые линейные смешанные модели (GLMM). Видовое богатство и индекс Шеннона были достоверно выше в губе Сельдяной. В Медвежьей влияние сезона не выявлено. Вклад в сезонные различия в Сельдяной вносят увеличение видов-доминантов и их обилий в мае во все года (особенно *Ovammina opaca*), тогда как в августе и ноябре сообщество представлено преимущественно *Miliammina fusca*. Выровненность была достоверно выше в Медвежьей губе, где численность видов в пробах более равномерна во все сезоны и годы. Выровненность в Сельдяной достигает минимума в ноябре, что связано с исключительным доминированием *Miliammina fusca* в этот период.

Подводя итог, литоральные мейобентосные протисты-фораминиферы благополучно переживают зиму под припайным льдом, а динамика их сообществ на протяжении года определяется сезонной доступностью пищевых ресурсов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №25-24-01058 https://rscf.ru/project/25-24-01058/.

Особенности организации пробоотбора морской воды в условиях эксплуатации маломерными судами

А.А. Демидов, М.А. Родионов, В.А. Прощакова, С.В. Кулешов
АО «Морские неакустические комплексы и системы», Санкт-Петербург, Россия.
E-mail info@naeco.ru

Гидрологические и гидрохимические исследования Белого моря ведутся в сложных навигационных и климатических условиях: мелководность прибрежной зоны, извилистая береговая линия с множеством губ и салм, ледовый покров, который сохраняется с ноября по май. Так, например, в Онежской и Двинской губах на десятки километров тянутся мелководья 10–15 м, а малая глубина Горла ограничивает водообмен с мировым океаном. Эти факторы ограничивают применяемость крупнотоннажного научно-исследовательского флота, поэтому значительная часть съёмок в прибрежной и шельфовой зоне выполняется малыми судами. На такие малогабаритные суда зачастую невозможно устанавливать мощные лебедки для использования автоматической батометрической кассеты. Решением задачи отбора проб в этом случае служит переход к ручным батометрическим кассетам, которые оператор может самостоятельно вывести за борт, опустить на тросе и поднять обратно, сохраняя при этом точность отбора проб по вертикали и надёжность герметизации, присущую автоматическим батометрическим кассетам.

В результате для регулярного мониторинга солёности и химического состава воды на разных глубинах Белого моря нужен инструмент, сочетающий надёжность традиционного батометра и объём пробы, приемлемые для ручной работы одним-двумя операторами с борта малогабаритного судна. Дополнительно, остается потребность в работе с несколькими пробами, взятыми на одном горизонте в рамках разных программ исследований, сохраняя при этом возможность работы с одной пробой большого объема.

Анализ условий эксплуатации на Белом море позволяет выкристаллизовать следующий набор требований к ручным батометрическим кассетам:

- Масса. Полностью снаряжённая кассета должна допускать переноску и спуск вручную одним оператором; ориентир – 30 килограммов на один пробоотборный модуль, при подъёме и перемещении тяжестей, чередующемся с другой работой (до 2 раз в час).
- Конструкция и материалы, не вносящие изменения в измеряемые параметры пробы.
- Габариты. Кассета не должна быть громоздкой и допускать манипуляции с ней без применения судового оборудования.
- Устойчивость к отрицательным температурам. Уплотнения должны сохранять эластичность при температурах более -20°C.
- Коррозионная стойкость. Повышенная агрессивность морской воды и частые циклы «намокание – обледенение» требуют антикоррозийных покрытий и материалов.
- Эргономичность в работе. Необходимость выполнения большого числа станций в ходе рейса задает требование к удобству использования изделия оператором.

Практическим примером такого рода оборудования являются производимые российским брендом NAECO ручные батометры, предназначенные для отбора проб воды на глубинах до 100 м объемом 2,4 л каждым из четырех батометров.

Специфика Белого моря – обилие мелководных участков, сезонное ледообразование и удалённость части полигонов от береговой инфраструктуры – делает затруднительным перенос без изменений габаритной батометрической техники на региональные съёмки. Ручные батометрические кассеты, спроектированные для работы одного-двух операторов с борта малогабаритного судна, удобные в эксплуатации и обслуживании позволяют вести регулярный пробоотбор. Дальнейшее развитие таких кассет должно идти по пути редуцирования массы конструкционных материалов, повышения морозостойкости

уплотнений, что позволит улучшить эргономичность и уменьшить время, затрачиваемое на взятие пробы на горизонте.

Влияние вырубки леса на Онежском полуострове
на состояние донных отложений и бентоса малых рек

Н.Ф.Й. Динкелакер[1], Н.В. Динкелакер[1]*, А.Т. Загидуллина[2],
А.В. Брагин[3], П.А. Футоран[3]
[1] Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия;
[2] НИИ Географии РАН, Москва, Россия;
[3] ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский».
*E-mail: nvdinkelaker@mail.ru

Увеличение объемов лесозаготовки в водосборных бассейнах рек беломорского побережья приводит к значительной по площади и длительной трансформации ландшафтов и может оказывать серьезное воздействие на биотические и абиотические компоненты речных экосистем. Малые реки Онежского полуострова имеют особенности охраны: нижние и, частично, средние течения рек расположены в пределах Национального парка «Онежское Поморье», в то время как верхние участки водосборов находятся за его границами, ближе середине полуострова, в эксплуатационных лесах с активной лесозаготовкой, происходящей в последнее десятилетие в непосредственной близости от границ ООПТ.

Настоящее исследование имело своей целью изучение негативного воздействия рубок на донные отложения и бентос малых рек Онежского полуострова. Исследовано накопление тяжелых металлов и металлоидов (стронций, свинец, мышьяк, цинк, никель, кобальт, железо, марганец, хром, ванадий, титан) в донных отложениях и фитобентосе, численность и таксономический состав фито- и макрозообентоса в нижнем и среднем течении 10 малых рек Онежского полуострова, имеющих в водосборных бассейнах вырубки различной давности и площади, в том числе была обследована 1 эталонная река с ненарушенным водосбором. Все изученные водотоки принадлежат к равнинному типу и имеют донные отложения преимущественно песчаные, с небольшими включениями мелкой (до 2 мм) гальки. Оценка нарушенности водосборов рубками леса выполнена с использованием QGIS 3 и данных дистанционного зондирования. Содержание тяжелых металлов было исследовано в образцах донных отложений, собранных в 2020 году на Онежском полуострове, с использованием метода рентгенофлуоресцентной спектроскопии (спектрометр Spectroscan Max G, Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгено-флуоресцентного анализа, Свидетельство Госстандарта РФ № 2420/53-2002). Оценка состояния фитобентоса проводилась путем учета проективного покрытия и видового состава на характерных участках рек. Для отбора проб макрозообентоса с поверхности донного грунта использовался гидробиологический скребок с мешком из газа. Одновременно со сбором проб осуществлялся замер глубин, температуры воды, скорости течения, прозрачность воды, отмечается характер грунта.

В реках, бассейны которых нарушены рубками леса в сравнении с интактным отмечается повышенное содержание марганца, цинка, ванадия, титана, свинца и пониженное содержание никеля, стронция и железа. Такие различия могут быть связаны с активным перемещением органического вещества почв в русла, и поступлением связанных с ним металлов. В донных отложениях рек с нарушенным бассейном выявлено увеличение содержания органического вещества, что может способствовать изменению трофности водоема и состояния биотических компонентов. Миграция тяжелых металлов донные отложения происходит с поверхностным стоком от мест проведения рубок.

В реках, имеющих нарушенные вырубками водосборные бассейны, отмечено изменение структуры фитобентоса по сравнению с эталонным объектом. Изменения выражаются в снижении обилия водных мхов и увеличении доли погруженных видов цветковых растений. Для рек, имеющих давние нарушения водосборных бассейнов, характерно исчезновение водных мхов и значительное распространение плейстофитов, ассоциированных с

эвтрофированными водоемами - кубышка желтая (*Nuphar lutea* L.), ряска (*Lemna minor* L.), рдест плавающий (*Potamogeton natans* L.). В реках с давними вырубками водосбора (40 лет и более) присутствия этих видов сохраняется.

В реках, имеющих недавние рубки в водосборах, отмечена пониженная численность макрозообентоса (в несколько раз относительно эталонного водотока), что несколько менее выражено в реках с давними рубками в водосборе.

По результатам исследования отмечается, что масштабные сплошные вырубки леса в водосборных бассейнах Онежского полуострова оказывает значительное воздействие на речные экосистемы, изменяя естественный геохимический состав донных отложений, способствуют изменению структуры и численности макрозообентоса, смене видового состава фитобентоса с характерного для олиготрофных вод на эвтрофный комплекс видов, который сохраняется спустя десятилетия после проведения рубок.

Фоторецепция без фоторецепторов: восприятие света у ставромедуз

М.М. Домрачева*, И.А. Косевич

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

* E-mail: m.domracheva2000@yandex.ru

Свет является одним из наиболее универсальных сигналов, регулирующим поведение живых организмов: он определяет пространственную ориентацию, поиск пищи, избегание хищников и сроки размножения. Считается, что сспособность к восприятию света возникала в эволюции Metazoa многократно и независимо, что привело к развитию широкого спектра фоторецепторных структур – от одиночных светочувствительных клеток до комплексных глаз камерного типа. Стрекающие представляют особый интерес для исследования возникновения и ранних этапов эволюции фоторецепции, так как являются одними из наиболее просто устроенных многоклеточных животных, обладающих фоторецепторными структурами. Кроме того, группа Cnidaria одновременно включает как виды с настоящими глазками (среди Cubozoa, Scyphozoa, части Hydrozoa), так и виды, лишенные глаз (среди Anthozoa и Staurozoa), что позволяет сравнивать близкородственные линии с разными способами восприятия света.

Одной из таких «безглазых» групп является класс Staurozoa, насчитывающий около 50 видов морских сидячих медуз. К настоящему моменту фоторецепция у ставромедуз изучена фрагментарно, однако ряд косвенных данных указывает на то, что представители этой группы способны к световосприятию. Молекулярно-филогенетический анализ последовательностей опсинов у Cnidaria выявил наличие книдопсинов (cnidops) у трех видов сидячих медуз: *Haliclystus auricula*, *Lucernaria quadricornis* и *Craterolophus convolvulus* (Picciani et al., 2018). Для некоторых родов Staurozoa были описаны пигментные пятна, предположительно ассоциированные с фоторецепцией и топологически связанные с ропалиоидами – модифицированными первичными щупальцами, гомологичными по происхождению ропалиям кубо- и сцифомедуз (Miranda, Collins, 2019). В ропалиоидах также были обнаружены скопления FMRFamid-положительных нервных клеток и предполагаемые рецепторные клетки (Westlake, Page, 2017; Domracheva, Khabibulina, 2023). Единственные ультраструктурные данные о строении фоторецепторных клеток были получены для ставрополипов интерстициального вида *Stylocoronella riedli* (Blumer et al., 1995). Однако даже у этого вида не было обнаружено выраженной реакции на изменение освещенности. Таким образом, несмотря на накопленные морфологические и молекулярно-генетические данные, поведенческая реакция на свет ни у одного представителя Staurozoa до настоящего времени зарегистрирована не была.

Целью данной работы стала характеристика спонтанной двигательной активности сидячей медузы *H. auricula* при постоянном освещении и экспериментальная оценка вероятности и характера двигательного ответа ставромедуз на точечную стимуляцию светом трех длин волн – красного (650 нм), зеленого (532 нм) и фиолетового (405 нм).

Спонтанную двигательную активность *H. auricula* регистрировали в течение часа при сильном (120 мкмоль квантов·м$^{-2}$·с$^{-1}$) и слабом (3 мкмоль квантов·м$^{-2}$·с$^{-1}$) постоянном освещении на восьми образцах. Поведение ставромедуз включало четыре типа движений: вращение чашечки, сокращение стебелька, сокращение чашечки и полное сокращение. При обоих уровнях освещенности преобладающим типом движения было вращение чашечки, которое, предположительно, ассоциировано с пищевым поведением и служит для поиска добычи. При этом частота и длительность движений при разных уровнях освещенности не показали статистически значимых различий, что позволило рассматривать такой паттерн спонтанной двигательной активности как устойчивый поведенческий фон для последующей интерпретации реакций, вызванных точечной стимуляцией.

Для экспериментальной оценки двигательного ответа стебелек и чашечку *H. auricula* подвергали точечной стимуляции светом трех длин волн при двух длительностях воздействия (10 и 30 с), всего было проведено 60 проб. Поскольку вращение чашечки являлось самым

частым типом движения при спонтанной активности, вероятность ответа на стимул оценивали двумя способами: в одном случае это движение учитывали в качестве реакции, в другом – исключали из рассмотрения. При обоих способах анализа единственным значимым предиктором вероятности ответа оказался цвет стимула, тогда как стимулируемая область тела и длительность воздействия не показали статистически значимого влияния. Наименьшую вероятность реакции вызывал красный свет (21.4 и 16.0% при двух способах анализа, соответственно), наибольшую – фиолетовый (97.6 и 96.6%). Зеленый свет при учете вращения чашечки в качестве реакции вызывал заметно более высокую вероятность ответа, чем при его исключении (59.5 и 7.5%, соответственно). Такое расхождение можно объяснить двумя способами: вращение чашечки либо представляет собой специфическую реакцию на зеленый свет, либо отражает фоновую спонтанную активность животного, не связанную с направленным ответом на стимул.

Точечная стимуляция впервые выявила реакцию, не наблюдавшуюся при фоновой активности, – открепление животного от субстрата. При стимуляции стебелька фиолетовым светом эта реакция оказалась преобладающей (6 из 10 проб), тогда как стимуляция чашечки тем же светом чаще вызывала полное сокращение без последующего открепления (6 из 10 проб). В результате статистического анализа не было выявлено значимой связи между стимулируемой областью тела и типом ответа. Это может говорить в пользу того, что светочувствительные структуры у *H. auricula* распределены по всему телу, а не ограничены ропалиоидами.

Полученные результаты представляют собой первое поведенческое доказательство наличия фоторецепции у представителя класса Staurozoa. Зависимость вероятности ответа от длины волны стимула указывает на наличие у *H. auricula* функциональных фоторецепторов, несмотря на отсутствие выраженных светочувствительных структур. Отсутствие значимой связи между стимулируемой областью тела и типом ответа, а также сходная вероятность реакции при стимуляции стебелька и чашечки позволяют предположить, что светочувствительность у *H. auricula* распределена по телу шире, а не только в пределах чашечки или ропалиоидов. Дальнейшее изучение паттернов экспрессии генов, ассоциированных с фоторецепцией, и организации нервной системы в различных областях тела *H. auricula,* а также применение подобного подхода к другим видам ставромедуз позволит установить, насколько обнаруженная способность к световосприятию характерна для класса Staurozoa в целом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 25-24-00700.

Гидрохимические и гидрофизические показатели при оценке антропогенной нагрузки на прибрежные акватории Белого моря

А.А. Драчева, М.А. Родионов, В.В. Задорин, Л.Л. Кулаков
АО «Морские неакустические комплексы и системы», Санкт-Петербург, Россия.
E-mail info@naeco.ru

Оценка антропогенной нагрузки на прибрежные акватории Белого моря требует различать изменения состояния вод, вызванные хозяйственной деятельностью, и изменения, обусловленные природными процессами. Цель работы – рассмотреть взаимосвязанные гидрохимические, гидрофизические и оптические показатели и режим их регистрации, позволяющий повысить репрезентативность наблюдений. Эти показатели необходимо анализировать совместно при судовых, буйковых и береговых наблюдениях. В работе рассматривается непрерывный многопараметрический анализ приповерхностных вод по ходу движения судна в сочетании с дискретным отбором проб с заданных горизонтов.

При непрерывном анализе по ходу движения судна забортная вода поступает через водозаборное устройство к измерительным ячейкам комплекса. Результаты характеризуют воду на глубине расположения водозабора, а не всю верхнюю часть водной толщи; эту глубину необходимо указывать в программе наблюдений. Выбор приповерхностных вод связан с влиянием речного и берегового стока и возможностью непрерывного отбора по ходу движения судна. Средний речной сток в Белое море составляет около 215 км³ в год, из которого более 90 % обеспечивают пять крупнейших рек; до 70 % годового объема поступает во время весеннего половодья. Речные воды приносят растворенные и взвешенные вещества как природного, так и антропогенного происхождения. На их распространение влияет приливная динамика: в Мезенской губе разность уровней моря при приливе и отливе достигает около 10 м, а скорости течений в отдельных районах – нескольких метров в секунду. Поэтому состав воды на горизонте водозабора способен заметно меняться в течение приливного цикла.

Непрерывный анализ по ходу движения судна дополняется отбором дискретных проб с заданных горизонтов, включая придонный. Маршрутные измерения позволяют выявлять пространственные изменения приповерхностных вод и выбирать участки для подробного обследования. Пробы с разных глубин и вертикальное зондирование уточняют распределение характеристик в водной толще; придонные пробы необходимы для изучения обмена на границе «вода – донные отложения», осаждения, повторного взмучивания и минерализации органического вещества. ГОСТ 17.1.3.08-82 предусматривает комплексный контроль качества морских вод по физическим, химическим и гидробиологическим показателям, однако не распространяется на экспедиционные обследования. Требования к отбору, транспортированию и сохранению проб устанавливает ГОСТ Р 59024-2020; конкретные процедуры выбираются в соответствии с методиками определения показателей и программой исследований.

При интерпретации результатов важен не отдельный показатель, а согласованное изменение нескольких характеристик. Температура и удельная электрическая проводимость позволяют различать водные массы и оценивать степень распреснения; гидростатическое давление используется при зондировании для привязки измерений по глубине. Например, снижение проводимости одновременно с ростом содержания силикатов и мутности может характеризовать речной шлейф, что само по себе не свидетельствует о загрязнении. Повышение мутности может быть связано как с естественным приливным взмучиванием, так и, например, с дноуглубительными работами. Нитраты, фосфаты и силикаты характеризуют содержание биогенных веществ, а концентрация хлорофилла А дополняет их данными о развитии фитопланктона. Растворенный кислород, pH и окислительно-восстановительный потенциал характеризуют условия биохимических процессов. Оптические каналы позволяют регистрировать мутность, хлорофилл А и растворенные органические вещества, а

флуориметрические методы – определять растворенные нефтепродукты. Последние важны в районах судоходства и портовой деятельности: по данным наблюдений ГОИН за 2023 г., приведенным в разделе «Тренды 2023 г.» по Белому морю, максимальная концентрация нефтяных углеводородов в Двинском заливе составила 2,48 ПДК. Это значение относится к локальному максимуму, а не к средней концентрации по акватории.

Из этого следуют требования к организации наблюдений: непрерывная подача забортной воды, согласованная регистрация по каналам, координатно-временная привязка результатов, выбор состава каналов под программу работ и архивирование. Тракт пробоподачи должен быть изготовлен из химически инертных материалов. Задержку доставки воды сокращают уменьшением внутреннего объема магистрали и выбором расхода, допустимого для измерительной системы. При этом инертность стенок не устраняет задержку и смешение последовательных порций воды. Время прохождения воды до измерительных ячеек необходимо учитывать при привязке результатов к месту и времени отбора. Для дискретных проб условия хранения, охлаждения или консервации выбирают по методике определения каждого показателя. Координатно-временная привязка позволяет связать каждый результат с местом и временем отбора воды. Данные разных каналов объединяются в консолидированный массив для совместного анализа.

Сформулированным требованиям в значительной степени соответствует судовой комплекс экспрессного гидрохимического анализа (ЭГХА) NAECO. В полной конфигурации он предусматривает гидрохимические каналы определения фосфат-, аммоний-, нитрат- и нитрит-ионов, силикатов, органических соединений, нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ и отдельных ионов металлов; гидрофизические каналы температуры, удельной электрической проводимости и гидростатического давления; оптические каналы мутности, хлорофилла А и растворенных органических веществ, а также измерения pH, окислительно-восстановительного потенциала и растворенного кислорода. Конфигурация формируется под программу исследований. Это позволяет использовать один измерительный комплекс как для оценки гидрологического фона, так и для регистрации химических и оптических признаков локальных изменений.

Применение комплекса ЭГХА в 71-м рейсе ПС «Академик Иоффе» и 135-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» продемонстрировало возможность сочетать два режима. Для дискретного анализа использовалась морская вода, отобранная штатной розеттой с заданных горизонтов; для маршрутных наблюдений была организована непрерывная подача забортной воды по ходу движения судна. Регистрация выполнялась с координатно-временной привязкой в ПО «БРИГ», что позволяет аффилировать результаты с конкретными участками маршрута судна. Исходя из практики применения, определены два взаимодополняющих режима: маршрутный анализ выявляет пространственные изменения, а исследование дискретных проб уточняет вертикальное распределение характеристик, что помогает установить природу обнаруженных аномалий.

При непрерывной регистрации по ходу движения судна риск пропуска локальных изменений между станциями может быть редуцирован. Сочетание маршрутного анализа и дискретного пробоотбора не заменяет полноценную программу экологических исследований, включая изучение донных отложений и лабораторный анализ отдельных загрязняющих веществ. Для прибрежных акваторий Белого моря результаты необходимо сопоставлять с сезоном, речным стоком, ледовыми условиями и фазой прилива, а также с положением маршрута судна относительно потенциальных источников загрязнения. Возможности комплекса ЭГХА NAECO позволяют рассматривать его как техническую основу предложенной схемы исследований: непрерывный анализ воды на горизонте судового водозабора по ходу движения судна дополняется исследованием проб с заданных глубин, включая придонный горизонт.

Интраэпителиальная нервная система пищеварительного тракта беломорских гастропод

Е.А. Евнукова[1*], О.В. Зайцева[1,2]

[1]Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия;

[2]Санкт-петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия.

*E-mail: evnukova.ea@gmail.com

Исследованию регуляторной системы пищеварительного тракта позвоночных посвящено большое количество работ. Согласно классическим представлениям она состоит из двух компонентов: интраэпителиальных эндокриноподобных клеток и субэпителиальных нервных сплетений, и ганглиев метасимпатического отдела висцеральной нервной системы, где эндокринные клетки играют рецепторную роль и выделяют регуляторные вещества преимущественно паракринным способом, а метасимпатическая нервная система обеспечивает локальный ответ на полученный сигнал (Колосов, 1968; Sharkey, Mawe, 2023). В отличие от позвоночных, для отдельных видов немертин, аннелид, двустворчатых и брюхоногих моллюсков с помощью импрегнации серебром и суправитальной окраски метиленовым синим было показано наличие в составе кишечного эпителия помимо эндокриноподобных рецепторных клеток еще и значительного числа нервных клеток (Пунин, 2001; Zaitseva, 2006; Zaitseva et al., 2020). Апикальная часть многих из них контактирует с просветом пищеварительного тракта (клетки открытого типа), а базальные отростки образуют бази- и субэпителиальные нервные сплетения, что позволяет предположить их рецепторную функцию (Пунин, 2001; Zaitseva, 2006; Zaitseva et al., 2020). Кроме того, для *Littorina littorea* методами электронной микроскопии было показано наличие у этих отростков способности образовывать синаптические контакты, что указывает на их нейрональную природу и участие в регуляции работы ЖКТ посредством нейротрансмиссии (Zaitseva, Filimonova, 2006). Некоторые из выявленных в эпителии ЖКТ клеток открытого типа у отдельных видов моллюсков содержали светлые неимпрегнирующиеся серебром вакуоли. Электронная микроскопия показала, что эти клетки могут обладать смешанной секрецией и выделять не только гормоны, но и слизистый секрет, т.е. быть экзо-эндокринными (Зайцева, 2019). Тем не менее, мало известно, насколько интраэпителиальные клетки нейрональной природы распространены в ЖКТ у беспозвоночных и, в частности, у гастропод, и какова химическая природа присутствующих в них регуляторных веществ. Это не позволяет получить достаточное представление о становлении и развитии в ходе эволюции интраэпителиальной составляющей нервной системы ЖКТ.

Целью настоящей работы стало сравнительное исследование организации интраэпителиальной нервной системы пищеварительного тракта гастропод на примере ряда представителей беломорских брюхоногих моллюсков из подклассов Caenogastropoda (*Littorina littorea, Buccinum undatum* и *Cryptonatica affinis*) и Heterobranchia (*Coryphella verrucosa*). Животные были собраны на сублиторали в Чупинской губе в районе ББС "Картеш" ЗИН РАН. Были исследованы: пищевод, зоб (при наличии), желудок, печень (пищеварительная железа) и задняя кишка. На всех выбранных объектах был применен нейрогистологический метод импрегнации азотнокислым серебром по Гольджи-Колонье. Метод основан на избирательном осаждении соединений серебра на телах нервных, эндокринных и рецепторных клеток и их отростках у беспозвоночных и позвоночных животных. Кроме того, на *Littorina littorea* было проведено иммуногистохимическое исследование нервных элементов ЖКТ с антителами к FMRF-амиду, субстанции Р (SP), нейротензину, серотонину и тубулину, с дополнительным гистохимическим выявлением мышечных волокон фаллоидином.

Показано, что в эпителии всех отделов пищеварительного тракта всех исследованных

моллюсков присутствует значительное количество разнообразных нервных клеток, апикальная часть которых доходит до просвета тракта, что предполагает их рецепторную функцию. Среди них встречаются как клетки с длинными базальными отростками (аксонами), образующими бази- и субэпителиальные нервные сплетения, так и клетки без базальных отростков или с очень короткими отростками (выростами). Существенные отличия в морфологии рецепторных клеток в разных отделах пищеварительного тракта у всех исследованных видов моллюсков достоверно не выявляются, однако наблюдаются отличия формы клеток у разных видов моллюсков. Полученные данные позволяют рассматривать интраэпителиальные клетки с длинными отростками в качестве рецепторных клеток, осуществляющих связи посредством нейротрансмиссии через синапсы, а клетки с короткими базальными отростками или без них в качестве эндокринных или смешанных экзо-эндокринных подобно эндокринным клеткам в составе эпителиального пласта ЖКТ позвоночных.

Иммуногистохимические исследования на *L. littorea* с антителами к FMRF-амиду выявили интраэпителиальные первичночувствующие рецепторные клетки веретеновидной формы, присутствующие в пищеводе, желудке и в кишечнике, а также более крупные рецепторные клетки, иногда колбовидной формы, в заднем отделе кишечника. Все эти клетки имеют длинные аксоны, образующие бази- и субэпителиальные нервные сплетения. В основании эпителия встречаются также отдельные нейроны, не контактирующие с просветом ЖКТ. Нейротензин обнаружен в интраэпителиальных рецепторных клетках с расширенной базальной частью и без базальных отростков в пищеводе и кишечнике, а также нейроны в середине эпителиального пласта печеночных долек. SP присутствует в малом числе рецепторных клеток с расширенной базальной частью и короткими отростками в основании эпителия пищевода и кишечника. В эпителии этих отделов имеются также многочисленные SP-содержащие свободные нервные окончания. Вероятно, большинство из них принадлежит мультиполярным нейронам, лежащим субэпителиально. Серотонин обнаруживается только в нервных отростках в бази- и субэпителиальных сплетениях ЖКТ.

Нейротензин и SP-подобные нейропептиды являются распространенными регуляторными веществами не только у беспозвоночных, но и у позвоночных. Клетки позитивные к этим веществам у исследованных нами моллюсков скорее всего представляют собой эндокриноподобные рецепторные элементы. Нейропептиды, подобные FMRF-амиду, - широко распространенные регуляторные вещества в ЖКТ беспозвоночных, которые обнаруживаются и у позвоночных животных. Судя по наличию длинных отростков у FMRF-амид-позитивных интраэпителиальных рецепторных клеток ЖКТ, они осуществляют регуляцию путем нейротрансмиссии. Интересно, что в одной из работ показано наличие в эпителии ЖКТ позвоночных наряду с типичными эндокринными клетками клеток с отростками, которые могут образовывать синапсы (Kaelberer et al., 2018). Таким образом, проведенное исследование показывает, что нейрональная интраэпителиальная составляющая регуляторной системы ЖКТ широко представлена в разных систематических группах гастропод, а также является довольно консервативным элементом в регуляции процессов пищеварения и у всех исследованных в этом плане беспозвоночных, и даже позвоночных животных.

В работе использовано оборудование ЦКП «Таксон» ЗИН РАН (http://www.ckp-rf.ru/ckp/3038/). Работа выполнена в рамках бюджетной темы Зоологического института РАН (проект 125012800894-6).

Динамика трофических связей трески Белого моря:
результаты многолетнего мониторинга

П.Н. Ершов[1]*, В.М. Хайтов[2,3,4]
[1]*Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия;*
[2]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;*
[3]*Кандалакшский государственный заповедник, Кандалакша, Россия;*
[4]*Московский институт психоанализа, Москва, Россия.*
*E-mail: Peter.Yershov@zin.ru

Трофические связи играют важную роль в формировании характера межвидовых взаимоотношений, потоков вещества и энергии, а также в динамике обилия видов в сообществах. Изучение динамики трофических взаимоотношений гидробионтов необходимо для оценки изменений, происходящих в структуре и функционировании морских экосистем. Атлантическая треска *Gadus morhua* Linnaeus, 1758 обитает в Северной Атлантике и прилегающей Арктике, где образует локальные стада. Беломорская треска *G. morhua marisalbi* Derjugin, 1920 относится к подвиду атлантической трески и является одним из наиболее важных компонентов прибрежных экосистем в этом субарктическом регионе. Согласно опубликованным сведениям, треска является всеядным видом и имеет широкий спектр потребляемых организмов. Основными группами пищевых организмов для трески являются рыбы, ракообразные и полихеты. Среди рыб-жертв треска предпочитает в основном трехиглую колюшку *Gasterosteus aculeatus* Linnaeus, 1758 и сельдь *Clupea pallasii marisalbi* Berg, 1923. Вместе с тем, роль колюшки, основного пищевого объекта трески, в значительной степени менялась в течение последних ста лет, что связано с резкими колебаниями численности ее популяции в Белом море. Известно, что в начале 1960-х гг. произошел коллапс популяции колюшки и она полностью исчезла из спектра питания трески вплоть до конца 1990-х гг. Первые признаки начала восстановления популяции этого вида в Белом море появились в 1997 г. В 2007-2008 гг., колюшка стала вновь доминировать в спектре питания трески в губе Чупа (Ershov 2010). Исследования состава питания трески в последующие годы подтвердили существенную роль колюшки в питании этого вида (Bakhvalova et al., 2016; Lajus et al. 2020). Однако, особенности межгодовых и сезонных изменений трофических связей трески в прибрежных экосистемах Кандалакшского залива, которые происходили в условиях возросшей численности колюшки в Белом море, остаются неизученными. Основная задача нашего исследования состояла в том, чтобы восполнить этот пробел. В данном исследовании использован 18-летний ряд данных (2007–2025 гг.) о составе содержимого желудков трески из прибрежных вод губы Чупа (Кандалакшский залив, Белое море). Характеристика питания трески была изучена у 2172 экз. взрослых особей в период активного нагула (июнь–август). Статистическая обработка данных проводилась методами регрессионного анализа.

В исследованной выборке доминировали половозрелые особи с длиной тела от 27 до 35 см, которые составили около 80% от общего числа пойманных рыб. Какого-либо многолетнего тренда в изменении размерной структуры уловов трески в губе Чупа не обнаружено. В спектр питания хищника входили представители 4 групп кормовых организмов (ракообразные, полихеты, рыбы и иглокожие). Всего в рационе трески за весь период наблюдений зарегистрировано 28 объектов питания. По обобщенным данным наибольшее значение в рационе трески в летние месяцы имели рыбы и их икра (82% по массе). Среди рыб треска потребляла преимущественно трехиглую колюшку (33% по массе), которая являлась для нее главным компонентом в составе пищи. Сельдь, а также икра некоторых видов рыб (пинагора, сельди, колюшки), нерест которых происходил в июне-июле в прибрежной зоне моря, также составляли значительную часть рациона трески. Второй по значимости группой пищевых организмов для трески являлись полихеты-нереиды (11.6% по массе). Доля каждой из

остальных групп беспозвоночных (ракообразные, иглокожие) в составе пищи трески была незначительна. Значимого многолетнего тренда в изменении числа потребляемых треской пищевых организмов в исследованный период не наблюдалось.

Доля рыб с пустыми желудками в общей выборке составила 25%. Интенсивность питания трески статистически достоверно изменялась как в течение летнего сезона, так и между годами наблюдений. Показано, что в уловах трески к концу лета возрастала доля рыб, у которых пища в желудке отсутствовала. На протяжении периода многолетнего мониторинга у трески выявлены “сытые” годы (2015, 2021-2023 гг.), когда доля питающихся рыб была достоверно выше по сравнению с другими годами наблюдений. В остальной период исследований треска с пустыми желудками встречалась гораздо чаще.

Проведенный статистический анализ выявил связь частоты встречаемости пяти наиболее важных пищевых объектов (колюшка, сельдь, икра рыб, нереиды, офиуры) с размерами самого хищника. Колюшка чаще встречалась в питании рыб средних размеров (30-45 см), а более мелкая треска длиной 22-30 см половозрелой колюшкой питалась редко. Сельдь была отмечена преимущественно в рационе крупных особей трески. Остальные пищевые объекты отмечались главным образом в составе пищи у рыб с длиной тела 20-30 см.

В течение летнего периода у трески обнаружена динамика встречаемости пищевых организмов, составляющих основу ее питания в этот сезон года. В первую половину лета треска активно питается колюшкой (около 40% по массе), которая нерестится в это время на мелководьях. Снижение уровня потребления колюшки треской происходит в конце июля, а к середине августа половозрелая колюшка исчезает из спектра питания хищника. Помимо колюшки в конце июня-начале июля важное значение в откорме трески играют также нереиды (до 20%) и икра (20%) некоторых видов рыб (колюшки, пинагора, сельди), нерест которых происходит в июне-июле. Во второй половине лета, по мере отхода колюшки от берегов, треска переключается на питание сельдью и молодью других видов рыб. Кроме того, в составе пищи трески в августе возрастает доля нереид.

Анализ многолетней изменчивости встречаемости в желудках трески пищевых организмов показал доминирование колюшки в составе пищи трески на протяжении практически всего периода наблюдений. Частота встречаемости и доля этого вида в составе пищи трески в незначительных пределах колебались около среднемноголетних значений. Другим важным объектом питания трески на протяжении всего периода мониторинга являлась сельдь. Существенную роль в откорме трески в исследованный период играла также икра рыб. По массовой доле этот кормовой объект слабо варьировал по годам. Нереиды в составе питания трески в 2007-2014 гг. составляли незначительную долю, а в 2023-2024 гг. их роль в питании трески несколько увеличилась. Офиуры на протяжении почти всего периода мониторинга занимали небольшую и относительно стабильную долю в составе пищи трески.

Таким образом, всплеск численности популяции трехиглой колюшки в начале 21 века после 50-летнего отсутствия этого вида в экосистеме привел к значительной и быстрой перестройке существовавших в предыдущие десятилетия пищевых связей трески в прибрежных районах Кандалакшского залива Белого моря. Взрослая треска стала потреблять преимущественно нерестящуюся около берегов в июне-июле колюшку, как это и отмечалось исследователями в период 1920-1950-х. Колюшка доминирует в составе летнего рациона взрослой трески уже на протяжении почти 20 лет, что связано с ее многочисленностью, калорийностью и доступностью в местах нереста и нагула. Изменения питания трески в течение летнего сезона тесно связаны с динамикой обилия колюшек на нерестилищах и пространственным распределением ее в прибрежье после нереста. Кроме того, в середине и конце лета, по мере отхода колюшки из прибрежной зоны, существенный вклад в питание трески вносили сельдь и полихеты. Сформировавшаяся в системе хищник-жертва устойчивая трофическая связь между двумя наиболее многочисленными видами рыб Кандалакшского залива очевидно играет существенную роль в процессах функционирования прибрежных морских экосистем.

Белое море через 100 лет: результаты "Дерюгинского" проекта

А.Э. Жадан[1], А.И. Азовский[1], Н.В. Шабалин[1], А.И. Кокорин[1], А.И. Исаченко[2], Н.Ю. Неретин[1], А.Б. Цетлин[1]*

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;
[2]ООО «Арктический Научный Центр» ПАО НК «Роснефть», Москва, Россия.
*E-mail: tzetlinab@my.msu.ru

В 1922 – 1924 гг. под руководством К.М. Дерюгина на научно-промысловом судне «Мурман» была выполнена комплексная океанологическая съёмка Белого моря. По её результатам в 1928 г. опубликована монография «Фауна Белого моря и условия её существования», заложившая основы фундаментальных представлений о составе фауны и факторах, определяющих структуру экосистемы Белого моря. Спустя столетие, в 2023 – 2025 гг., был реализован «Столетний, или Дерюгинский» проект, цель которого – оценка современного состояния экосистемы Белого моря и анализ изменений за последнее столетие. Задачи проекта включали отбор проб в тех же точках и теми же методами, что и у К.М. Дерюгина, изучение биотических и абиотических факторов с помощью всего спектра современных методов, а также сравнение полученных данных с историческими. В проекте приняли участие более 80 человек из разных организаций, включая студентов и аспирантов. Работы выполнялись на научно-исследовательских судах «Профессор Зенкевич» и «Картеш». Всего в 2023 – 2024 гг. было выполнено 20 станций, на каждой из которых брали три дночерпателя и трал, что составило 118 дночерпательных и 37 траловых проб. Проведён широкий спектр анализов: макробентос, мейобентос, гранулометрия, микобиота, CTD-зондирование, анализ морских вод, зоопланктон, фитопланктон, хлорофилл a, бактериопланктон с метагеномным анализом, ихтиопланктон, метабаркодинг донных беспозвоночных, анализ донных отложений на загрязняющие вещества, изучение подводных ландшафтов с помощью подводной видеокамеры и оценка загрязнённости микропластиком. Полученные данные по зообентосу показали, что наши знания о фауне Белого моря и арктической фауне в целом далеки от полноты: большая часть групп нуждается в переисследовании, в том числе с применением молекулярных методов. Вместе с тем список видов, отмеченных в Белом море, за последние сто лет существенно пополнился. Если у К.М. Дерюгина было отмечено 280 таксонов, то в сборах 2023 – 2024 гг. – 410 таксонов, а общий список с учётом исторических данных достиг 451 таксона. Важно, что среди выявленных видов не зарегистрировано ни вымираний, ни вселений. Доминирующими группами по числу видов остаются полихеты, ракообразные, мшанки, брюхоногие и двустворчатые моллюски, гидроидные полипы и иглокожие; в современных сборах доля полихет, ракообразных и мшанок немного возросла. Кривые накопления видов, скорректированные на число редких видов, ещё не выходят на плато, что говорит о существенной неполноте инвентаризации: не выявленными остаются, по-видимому, от 25 до 30 % видов. При этом кривые накопления для траловых станций 1922 г. и 2023 – 2024 гг. практически совпадают, а скорости прироста числа видов близки, то есть пространственная неоднородность донной фауны Белого моря за сто лет не изменилась. Не обнаружено и достоверных различий в локальном видовом богатстве. Пробы макробентоса, взятые в разные годы на одной и той же станции, оказываются достоверно более сходными между собой, чем с пробами с других станций. Иными словами, уровень сходства или различия станций по видовому составу бентоса сохраняется даже спустя столетие. Общее разнообразие донной макрофауны существенно не изменилось; сохраняется определённая преемственность населения; ни в соотношении богатства макротаксонов, ни в уровнях альфа- и бета-разнообразия, ни в распределении донных сообществ кардинальных изменений не выявлено. Наряду с этим были найдены новые виды: несколько видов, ранее не отмеченных в Белом море, и несколько видов, новых для науки, в том числе один вид полихет, один вид губок и несколько видов немертин. Таким образом, экосистема Белого моря за последние сто

лет существенно не изменилась и демонстрирует удивительную стабильность. Это позволяет рассматривать Белое море как модельный полигон, или реперную точку для организации мониторинга Арктики. С Белым морем можно будет сравнивать другие арктические регионы, в которых происходят быстрые изменения, такие как сокращение морского льда, таяние вечной мерзлоты, опреснение и вселение инвазивных видов.

Проект выполнен при поддержке ПАО НК «Роснефть»

Ультраструктура мужских половых клеток турбеллярии *Plagiostomum vittatum* (Prolecithophora)

Я.И. Заботин*, В.Г. Евтюгин

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия.

*E-mail: Yaroslav_Zabotin@rambler.ru

Пролецитофоры (Prolecithophora) представляют собой своеобразную группу пресноводных и морских свободноживущих плоских червей, известных под собирательным названием «турбеллярии». Ревизия филогенетических отношений внутри типа Plathelminthes, проведенная У. Элерсом (Ehlers, 1985), была основана, в частности, на ультраструктурных особенностях мужских половых клеток. Так, в качестве синапоморфий для пролецитофор он предложил наличие уникальных «складчатых мембранных образований» сперматозоидов и отсутствие жгутиков и электронно-плотных гранул. Хотя ультраструктурные признаки мужских гамет (наряду с молекулярно-генетическими методами) широко используются в систематике и филогенетике плоских червей, на данный момент они описаны лишь у некоторых видов пролецитофор.

В связи с этим целью данной работы стало исследование ультраструктуры мужских половых клеток пролецитофоры *Plagiostomum vittatum* (Frey, Leuckart, 1847) (Prolecithophora, Plagiostomidae). Ранее сперматозоиды наблюдались лишь на светооптическом уровне (Hendelberg, 1969) и с помощью трансмиссионного электронного микроскопа (ТЭМ) исследованы не были. Половозрелые особи были собраны на литорали о-вов Виченная Луда и Сидоров (Керетский архипелаг, губа Чупа, Белое море) в смывах с водорослей. Материал был зафиксирован в 1% глютаровом альдегиде на 0.1 М фосфатном буфере и подготовлен для ТЭМ по стандартной схеме – дополнительная фиксация 1% раствором четырехокиси осмия на 0.1 М фосфатном буфере, обезвоживание спиртовым рядом (от 30% до абсолютного) и ацетоном, заливка в эпоновую смолу. Ультратонкие срезы были получены с помощью ультрамикротомов «Reichert-Jung» и «LKB», контрастированы уранил-ацетатом и цитратом свинца и исследованы с помощью ТЭМ Hitachi HT7700 Exalens в Междисциплинарном центре «Аналитическая микроскопия» Казанского (Приволжского) федерального университета.

Мужские половые клетки *P. vittatum* расположены в парных семенниках, которые имеют диффузное строение и лишены собственных мускульных стенок; половые клетки на различных стадиях созревания граничат непосредственно с клетками паренхимы. Сперматида *P. vittatum* имеет вытянутую веретеновидную форму; внешнее деление на отделы (головку, шейку и хвост) не выражено. Вдоль всей длины клетки в центральной части проходит узкое палочковидное или спирально закрученное ядро, содержащее электронно-плотный хроматин с фибриллярной структурой. Фибриллы хроматина тонкие, нитевидные, часто располагаются рыхло. От поверхности ядра отходят многочисленные тонкие пальцевидные выросты. Между «витками» ядра располагаются митохондрии. В некоторых из них были замечены деструктивные изменения, в результате которых у них исчезают кристы, либо внутри образуются полости. Вдоль всей сперматиды непосредственно под наружной клеточной мембраной проходит один ряд кортикальных микротрубочек, опоясывающих клетку по спирали; жгутики и другие клеточные компоненты отсутствуют. Характерных для сперматозоидов пролецитофор «складчатых мембранных образований» обнаружено не было.

Сперматозоид *P. vittatum* отличается более плотным расположением хроматиновых фибрилл и наличием в средней части «складчатых мембранных образований», представляющих собой узкие каналы или цистерны, обычно расходящиеся радиально от центра клетки (ядра) в направлении периферии; иногда они соединяются непосредственно с ядерной мембраной. На периферии клетки они часто формируют ассоциации с отдельными митохондриями, окружая

их с двух сторон или образуя «развилки», в которых располагаются митохондрии. Как и для сперматиды, для сперматозоида *P. vittatum* характерна палочковидная или спиральная форма ядра с пальцевидными выростами, кортикальное расположение микротрубочек и полное отсутствие жгутиков и различных клеточных включений.

В сперматозоидах Prolecithophora может варьировать как количество и расположение митохондрий, так и морфология «складчатых мембранных образований». Так, в пределах данного таксона можно проследить различные этапы олигомеризации митохондрий – от многочисленных, расположенных поодиночке (у представителей семейства Plagiostomidae, в т.ч. у данного вида) до лишь одной или двух, образующихся путем слияния остальных (в семействе Pseudostomidae). Вероятно, такие ультраструктурные особенности сперматозоидов, как количество и расположение митохондрий, морфология «складчатых мембранных образований» (в форме каналов, как у *P. vittatum*, или альвеол) и их происхождение (из ядерной мембраны, мембраны митохондрии, внутренней клеточной мембраны и др.), могут найти отражение в филогенетике пролецитофор, однако для подтверждения этой гипотезы необходимы дальнейшие исследования сперматозоидов и спермиогенеза других видов.

Ультраструктура яйцеклеток немертины *Lineus ruber*

М.М. Ибатуллина*, Я.И. Заботин, В.Г. Евтюгин
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия.
*E-mail: malikaibatullina@gmail.com

Тип немертины (Nemertea), насчитывающий около 1300 видов, представляет собой уникальную группу первичноротых животных, сочетающую черты как низших, так и высших билатерий. Половая система немертин характеризуется простотой строения, однако на ультратонком уровне описана довольно слабо. На сегодняшний день ультраструктурные особенности их гамет редко применяются в систематике и филогении этой группы (Чернышев, 2011), хотя они могут иметь большое значение для понимания эволюции репродуктивных структур у беспозвоночных. В связи с этим целью данной работы стало изучение ультраструктуры женских половых клеток у широко распространенного литорального вида немертин Белого моря *Lineus ruber* (Müller, 1774).

Половая система самки *L. ruber* представлена многочисленными парными яичниками, расположенными метамерно по бокам тела между дивертикулами кишечника и стенкой тела. Каждый яичник имеет вид округлого мешочка, стенка которого образована герминальным эпителием, а внутри находятся ооциты на разных стадиях созревания. *L. ruber* отличается от близкого вида *L. viridis* (Müller, 1774) кладками яиц с более плотной оболочкой, хорошо переносящими высыхание, и наличием адельфофагической (шмидтовской) личинки, питающейся недоразвитыми яйцами и эмбрионами внутри кладки (Чернышев, Маслакова, 2010; Martin-Duran et al., 2015).

Половозрелые особи немертин были собраны на литорали островов Керетского архипелага (губа Чупа, Белое море). Участки тела, содержащие половую систему, были зафиксированы в 1% глютаровом альдегиде на 0.1 М фосфатном буфере. Материал был подготовлен для трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) по стандартной схеме – дополнительная фиксация 1% раствором четырехокиси осмия на 0.1 М фосфатном буфере, обезвоживание спиртовым рядом (от 30% до абсолютного) и ацетоном, заливка в эпоновую смолу. Ультратонкие срезы были получены с помощью ультрамикротомов «Reichert-Jung» и «LKB», контрастированы уранил-ацетатом и цитратом свинца и исследованы с помощью ТЭМ Hitachi HT7700 Exalens в Междисциплинарном центре «Аналитическая микроскопия» Казанского (Приволжского) федерального университета.

Снаружи яичник *L. ruber* покрыт герминальным эпителием, состоящим из плоских эпителиальных клеток и базальной пластинки. Яйцеклетки имеют овальную или неправильную форму и достигают около 40 мкм в поперечнике. Ядро ооцита имеет округлую форму, достигает 25 мкм в диаметре и содержит округлое электронно-плотное ядрышко (до 5 мкм в диаметре). Ооплазма характеризуется электронной прозрачностью и малым количеством органелл. В ней встречаются единичные округлые митохондрии диаметром до 2 мкм, содержащие многочисленные, хорошо выраженные кристы. Митохондрии располагаются поодиночке, преимущественно в периферической зоне клетки. В ооплазме можно выделить два типа желточных гранул, различающихся по электронной плотности. Желточные гранулы 1 типа электронно-плотные, иногда с вкраплениями средней электронной плотности; гранулы 2 типа отличаются меньшей электронной плотностью. Диаметр гранул обоих типов варьирует от 0,3 мкм до 0,8 мкм; в некоторых ооцитах они густо заполняют ооплазму. Иногда в ооплазме встречаются мультиламеллярные тельца, состоящие из спирально свернутых мембранных структур.

Между ооцитами просматриваются вытянутые клетки размером 2-2,5 мкм в поперечнике, характеризующиеся крупным ядром с хорошо заметным ядрышком. Наружная поверхность яйцеклетки, обращенная в сторону герминального эпителия, в некоторых местах образует тонкие выросты.

К герминальному эпителию яичника снаружи прилегают отдельные пучки продольных мышц. Гонадная мускулатура также была описана на ультратонком уровне у близкого вида *L. viridis* (von Döhren, Bartolomaeus, 2006), а также у других видов немертин (Turbeville, Ruppert, 1985). Количество зрелых ооцитов в одном яичнике варьирует у различных представителей Nemertea. У большинства пелагических немертин и некоторых бентосных видов в яичнике находится один полностью развитый ооцит размером от 60 мкм до 1 мм. У других видов может присутствовать до нескольких десятков зрелых ооцитов. Число ооцитов, обнаруженных нами в яичниках *L. ruber* заметно меньше, чем описано у близкого вида *L. viridis*, у которого их количество достигает 15 (Stricker et al., 2001; von Döhren et al., 2012).

Тандемные повторы в геноме беломорской трематоды *Himasthla elongata* (Himasthlidae)

С.Д. Исаков[1*], А.И. Соловьева[1]

[1]*Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия.*

*E-mail: serzh.isakov.01@list.ru

Характерной особенностью геномов всех эукариотических организмов является наличие большого количества повторяющихся последовательностей, подразделяемых на диспергированные (рассеянные по геному) и тандемные. Тандемные повторы организованы в кластеры, внутри которых отдельные единицы (мономеры) примыкают друг к другу по принципу голова к хвосту. Тандемные повторы часто локализуются в центромерных, перицентромерных и субтеломерных регионах хромосом и играют важную роль в поддержании стабильности генома. Долгое время считали, что тандемные повторы транскрипционно неактивны. Однако теперь известно, что со многих из них транскрибируются некодирующие РНК, участвующие в процессах формирования гетерохроматина в ходе эмбриогенеза, ответа клетки на тепловой шок и канцерогенеза. Последовательности тандемных повторов охарактеризованы у многих видов живых организмов, но комплексных работ по тандемным повторам трематод до сих пор нет.

Трематоды являются одним из самых распространенных классов паразитических плоских червей. Их ключевой особенностью является сложный жизненный цикл, характеризующийся сменой одного или нескольких промежуточных и дефинитивного хозяев и чередованием гермафродитного и партеногенетических поколений. Трематоды паразитируют на представителях большинства таксонов позвоночных и беспозвоночных животных. О тандемных повторах трематод на сегодняшний день известно очень немного. Подробно охарактеризованы только семейства W-элементов (WEF) шистосом и тандемные повторы в области ITS1 у нескольких видов трематод. Для некоторых видов также охарактеризованы специфичные мини- и микросателлитные кластеры. Трематода *H. elongata* является весьма удобным модельным объектом для изучения тандемных повторов, поскольку дефинитивным хозяином для нее выступают чайки рода *Larus spp.*, что позволяет отказаться от специальных мер защиты при работе с объектом.

Цель работы: биоинформатический поиск тандемных повторов в геноме трематоды *Himasthla elongata* (сем. Himasthlidae) и верификация их наличия в геноме.

Для проведения биоинформатического поиска тандемных повторов использовали три набора сырых прочтений генома (SRR14824547, SRS29589507, SRS29589508) и черновую сборку генома (https://zenodo.org/records/15310891) *H. elongata*. Основные вычисления для работы с сырыми прочтениями проводили на платформе Galaxy (https://repeatexplorer-elixir.cerit-sc.cz/galaxy/). Качество прочтений проверяли с помощью инструмента FastQC (Galaxy Version 0.74) и при необходимости обрабатывали их с помощью Trimmomatic (Galaxy Version 0.39). Объединенные парные прочтения кластеризовали и проводили поиск тандемных повторов с помощью программы RepeatExplorer2 (Galaxy Version 2.3.12.1). Полученные последовательности сравнивали между тремя наборами прочтений с помощью алгоритма blastn (Galaxy Version 2.16.0). Дополнительно проводили поиск сходств с последовательностями других видов трематод по базе Core nucleotide database с помощью алгоритма blastn.

Сборку генома анализировали с помощью программы Tandem Repeat Finder (Version 4.10.0-rc.2). Программу настроили на поиск тандемных повторов с длиной мономера до 2000 нуклеотидов, а затем отобрали среди них те, у которых мономеры превышали длину 100 нуклеотидов с целью удобства подбора праймеров для ПЦР. Полученные последовательности мономеров с помощью blastn сравнивали с тандемными повторами, найденными программой RepeatExplorer2.

Среди последовательностей тандемных повторов, найденных программами RepeatExplorer и Tandem Repeat Finder отобрали несколько и с помощью инструмента Primer-BLAST (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/) подобрали к ним праймеры для верификации их присутствия в геноме трематоды методом ПЦР.

В качестве матрицы для ПЦР использовали ДНК, выделенную из редий *H. elongata* с помощью детергента CTAB (Cetyl trimethyl ammonium bromide). Результаты ПЦР визуализировалис помощью электрофореза в 1% агарозном геле. Полученные ампликоны секвенировали в ресурсном центре «Развитие молекулярнных и клеточных технологий» СПБГУ, а нуклеотидные последовательности анализировали в программе BioEdit.

В результате кластеризации сырых прочтений программа RepeatExplorer2 идентифицировала как тандемные повторы по 8 последовательностей для каждого из наборов прочтений. Последующий анализ показал, что два тандемных повтора присутствуют во всех трех наборах сырых прочтений генома, а еще три повтора – в двух наборах из трех. По всей видимости, данные последовательности относятся к самым крупным кластерам тандемных повторов.

При поиске сходств по базе Core nucleotide database для тандемных повторов *H. elongata*, обозначенных программой №55, №95 и №107, были найдены совпадения с нуклеотидными последовательностями некоторых трематод. Так 5'-область повтора №55 имеет совпадения с малой ядерной РНК U1 *Schistosoma mansoni*. Для 5'-области повтора №95 показаны совпадения со сплайсированными лидерными РНК *Fasciola hepatica*, *Stephanostomum sp.* и *Haematolechus sp.*, а для 3'-области – с микросателлитными последовательностями *Schistosoma japonicum, Maritrema novaezealandensis* и *Gymnophallus sp.* 5'-область повтора №107 имеет совпадения с малой ядерной РНК U2 *Schistosoma mansoni*, а также с микросателлитными последовательностями этого же вида.

В результате анализа сборки генома *H. elongata* с помощью программы Tandem Repeat Finder получили набор из 675 последовательностей тандемных повторов длиной от 100 до 2000 нуклеотидов. Большая эффективность поиска по сравнению с RepeatExplorer объясняется специализацией программы на поиске тандемных повторов, а также работой с собранными геномами. Сравнение последовательностей тандемных повторов, найденных двумя программами, показало, что последовательность повтора с длиной мономера 102 нуклеотида, обозначенного программой RepeatExplorer2 №1, имеет сходство со множеством повторов, найденных программой Tandem Repeat Finder на разных участках генома. Некоторые из этих повторов совпадают по длине с повтором №1, другие превышают его длину в два-три раза, и его последовательность является для них повторяющимся мотивом. По всей видимости, эти повторы входят в один класс.

При постановке ПЦР для повторов №55, №95 и №107 и для тандемного повтора с длиной мономера 1083 нуклеотидов, найденного программой Tandem Repeat Finder, были получены продукты предсказанного размера. Последующее секвенирование ПЦР-продуктов подтвердило идентичность их последовательностей мономерам, найденным программами, что подтверждает наличие найденных тандемных повторов в геноме *H. elongata*.

Таким образом, в этой работе были впервые получены наборы последовательностей тандемных повторов трематоды *Himasthla elongata* и подтверждено их наличие в геноме с помощью ПЦР. Также было показано сходство некоторых из этих повторов с последовательностями различных некодирующих РНК других трематод, что может свидетельствовать о наличии в тандемных повторах *H. elongata* функциональных доменов. Для дальнейшего определения локализации этих сателлитов на хромосомах необходимо проведение флуоресцентной *in situ* гибридизации.

Работа выполняется в рамках Государственного задания Минобрнауки России для ИНЦ РАН (№126022017769-3).

Эмбриональное и личиночное развитие *Ophelia limacina* как модель для изучения осевой спецификации и эволюции морфогенезов у аннелид

В.В. Козин

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

*E-mail: v.kozin@spbu.ru

Проблема становления билатеральной симметрии и формирования осевых отношений является ключевой для понимания механизмов индивидуального развития и филогенеза Metazoa. Установление дорсовентральной и переднезадней полярности в эмбриогенезе сопряжено с перестройками клеточных и молекулярных механизмов, что особенно ярко проявляется у Spiralia. Аннелиды демонстрируют широкий спектр онтогенетических стратегий, однако наиболее полно изучены единичные лабораторные модели с гетероквадрантным дроблением и редуцированным личиночным развитием (*Platynereis, Capitella, Helobdella*). В связи с отсутствием современных данных по аннелидам с контрастными особенностями онтогенеза, сохраняется потребность в модельных объектах с плезиоморфными чертами развития, позволяющими реконструировать эволюцию морфогенезов. Седентарная полихета *Ophelia limacina* (Rathke, 1843) может рассматриваться перспективным объектом для эволюционной биологии развития, так как ее онтогенез во многом отражает предковое состояние Spiralia.

Целью настоящей работы является детальное описание ранних этапов онтогенеза *O. limacina* и обоснование ее ценности как модели для комплексного сравнительно-эмбриологического анализа. Исследование проведено на материале, собранном в верхней сублиторали Кандалакшского залива Белого моря. Применен широкий спектр методов: прижизненные наблюдения, световая и лазерная конфокальная микроскопия с использованием окрашивания фаллоидином, Mito Orange CMTMRos и антителами к ацетилированному тубулину и нейромедиаторам, гистохимическая реакция на щелочную фосфатазу, а также импульсное мечение пролиферирующих клеток EdU.

Для *O. limacina* характерно наружное оплодотворение и гомоквадрантное дексиотропное спиральное дробление, приводящее к формированию целобластулы с эксцентрическим бластоцелем. Первые деления синхронны, к 7 ч. формируется восьмиклеточный зародыш, далее деления в разных квартетах бластомеров проходят асинхронно, но без отличий между квадрантами. К 14,5 ч. выделяется пятый квартет микромеров (стадия 68 клеток), после чего деления замедляются и начинаются активные изменения формы клеток. Радиальная симметрия бластулы утрачивается из-за опережающих делений в клетках дорсальной стороны (в микромерах квадранта D). К 17 ч. появляются первые реснички прототроха, ресничная бластула имеет узкий бластоцель и вытянутые клетки вегетативного полюса. К этому моменту мезобласт 4d делится в плоскости билатеральной симметрии.

Гаструляция осуществляется преимущественно путем инвагинации вегетативной пластинки. К концу первых суток формируется ресничная гаструла, бластопо ркоторой постепенно смещается в передневентральном направлении, что соответствует представлениям об изгибании анимально-вегетативной оси у первичноротых. На вторые сутки развития формируется сквозной U-образный кишечник, в бластоцель выселяются мезодермальные клетки, и образуется трохофора – долгоживущая планктотрофная личинка, у которой большая часть тела занята функционирующей пищеварительной системой. Первые серотонин- и FMRF-амидэргические нейроны появляются с 48 ч. в апикальном органе, на заднем полюсе гипосферы (пионерные чувствительные нейроны) и в области рта (в составе стоматогастрической системы).

В ходе анализа клеточной пролиферации с помощью EdU установлено, что у трохофор метка локализуется преимущественно в клетках гипосферы и в стенке пищевода. В

задневентральной области гипосферы в полости бластоцеля небилатерально расположены одно или два наиболее крупных EdU+ ядра, по всей видимости, являющихся потомками мезобласта 4d. Гетерогенность метки EdU и различия в структуре хроматина этих клеток-зачатков мезодермальных полосок свидетельствуют об асинхронности прохождения ими клеточного цикла, что ранее не было отмечено для мезотелобластов аннелид.

В течение первых 1–2 недель развития происходит рост трохофоры, гипосфера удлиняется, проявляются признаки метамерии – поперечные пигментные кольца и диссепименты. К 3–5 неделям формируется метатрохофора с тремя хетоносными сегментами, которые отделяются глубокими бороздками, и пигидием с двумя циррами. Сегментация и оседание личинок происходят асинхронно, 4–5-сегментные ювенили переходят к ползанию и питанию субстратом.

Комплексный подход, включающий морфологический, гистохимический, прижизненный цитологический и иммуноцитохимический методы, позволил получить всесторонние данные по феноменологии раннего развития беломорской офелии. Выявленный онтогенетический профиль *O. limacina* – с гомоквадрантным дроблением и поздним становлением билатеральности, эпителиальными морфогенезами, инвагинационной гаструляцией и планктотрофией – является редкостью среди экспериментально изучаемых аннелид, поскольку не поддается воспроизводству в изолированных лабораторных условиях. Филогенетическое положение офелиид, сестринских к кладе капителлид и эхиурид, делает *O. limacina* чрезвычайно подходящим и доступным объектом для изучения эволюционных переходов от гомо- к гетероквадрантному дроблению и от планктотрофии к лецитотрофии. Наличие сокращенного бластоцеля у этого вида указывает на потенциальные изменения в индуктивных взаимодействиях по сравнению с видами, имеющими обширный бластоцель. Планктотрофный тип личинки с чрезвычайно медленным развитием посторального отдела тела предполагает наличие выраженных гетерохроний в активации «туловищной программы» (включая Hox гены) и совершенно особых, не известных до сих пор принципах морфогенеза ларвальных сегментов. Представленный комплекс морфологических данных создает необходимую основу для будущих молекулярно-генетических и функциональных исследований, направленных на раскрытие механизмов осевой спецификации и эволюции Spiralia.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-74-10046-П.

Изменение параметров жизненного цикла беломорских литторин в условиях глобального потепления климата

Е.В. Козминский*
Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: Eugene.Kozminsky@zin.ru

Littorina obtusata (Linnaeus, 1758) и *L. saxatilis* (Olivi, 1792) - широко распространенные виды бореальных моллюсков, населяющие литораль морей северного полушария. Скорость роста и сроки достижения полового созревания у беломорских представителей этих видов отличаются от таковых в более южных регионах. Одним из наиболее важных факторов, определяющих эти параметры жизненного цикла у моллюсков, является температура окружающей среды. В условиях глобального потепления, можно ожидать изменения обоих характеристик и, следовательно, существенных изменений в реализации жизненных циклов беломорских моллюсков.

Для проверки этого предположения были проанализированы три группы данных. К первой относятся результаты наших экспериментов по изучению роста и сроков полового созревания литторин в лабораторных условиях. Во вторую группу входят наши наблюдения за сезонной динамикой роста и размножения литторин в естественных условиях. Третью – основную - группу составляют результаты изучения скорости роста литторин при разной температуре окружающей среды, полученные нами в ходе проведения популяционно-паразитологического мониторинга состояния популяции литторин на о.Ряжков (Кандалакшский государственный природный заповедник) в период с 2001 по 2024 гг.

В естественных условиях, беломорские литторины достигают половой зрелости по достижении ими диаметра раковины 7.0 мм - в конце третьего – начале четвертого (3+) года жизни и приступают к размножению в возрасте трех лет (3+). В лабораторных условиях нами было установлено, что момент наступления половой зрелости моллюсков определяется не возрастом, а достигнутым размером: сеголетки литторин, содержавшиеся при 20оС, росли существенно быстрее, чем в естественных условиях и достигали половой зрелости примерно за восемь месяцев, по достижении вышеупомянутого размера.

Анализ данных, полученных в ходе мониторинга на о.Ряжков, показал, что скорость роста сеголеток литторин в разные годы была тем выше, чем больше средняя температура в течение вегетационного периода (с мая по сентябрь). Следовательно, глобальное потепление действительно оказывает значительное воздействие на рост литторин; принимая во внимание результаты наблюдений в лабораторных условиях, это может приводить к сокращению сроков полового созревания моллюсков.

Особый интерес, в этом отношении, представляют данные по росту литторин, полученные в 2024 г., который был самым теплым за весь период наблюдений. Они позволили, опираясь на наши данные по сезонной динамике роста и размножения литторин в естественных условиях, оценить сокращение сроков полового созревания литторин в условиях Белого моря при повышении температуры и воздействие глобального потепления на реализацию их жизненного цикла.

В 2024 г. литторины в возрасте двух лет (2+) достигли размера полового созревания (7.0 мм) на месяц раньше, чем обычно – в начале августа, а отдельные - наиболее быстрорастущие особи - даже в конце июля. В случае яйеживородящих *L. saxatilis*, с пиком вымета сеголеток в августе, часть молодых моллюсков, достигшая полового созревания в это время, может принимать участие в воспроизводстве популяции уже в текущем году. В случае *L. obtusata*, обнаруженного сокращения сроков полового созревания вследствие увеличения скорости роста самого по себе недостаточно для существенного изменения репродуктивной биологии этого вида. Так как откладка яйцевых капсул у *L. obtusata* завершается в начале июля, достигшие половой зрелости особи в возрасте 2+ «не успевают» принять участие в

воспроизводстве популяции в текущем году. Для того, чтобы *L. obtusata* приступили к размножению в возрасте двух (а не трех, как обычно) лет необходимо, чтобы произошло также увеличение продолжительности вегетационного периода примерно на месяц. Последнее, принимая во внимание динамику изменения температуры в районе исследований в период исследований, представляется весьма вероятным и может произойти уже в ближайшем будущем.

Таким образом, глобальное потепление климата оказывает существенное воздействие на скорость роста и сроки полового созревания беломорских литторин, что в обозримом будущем может привести к значительным изменениям в их репродуктивной биологии и жизненных циклах.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 125012800889-2 ЗИН РАН.

Таксономический состав и метаболическая специфика микробиомов фораминифер литорали Белого и Баренцева морей

С.А. Корсун*, Е.А. Голикова, Е.Р. Гафарова, Д.С. Курячий
Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: s_korsun@mail.ru

Фораминиферы ─ одноклеточные эукариоты, которые являются неотъемлемой частью бентосной фауны многих морских экосистем и напрямую влияют на донные биогеохимические циклы (Gooday, 1988; Moodley et al., 2002; Nomaki et al., 2005). Методами просвечивающей электронной микроскопии (TEM) было показано, что фораминиферы служат хозяевами для разнообразных экто- и эндобионтов: некоторые виды бентосных фораминифер поддерживают популяции прокариот на поверхности клетки, цитоплазма других видов содержит целые прокариотические клетки (Bernhard et al., 2018). Эти ассоциации не являются случайными. Значительная их часть представляет собой стабильные симбиотические отношения. В число таких симбионтов могут входить денитрификаторы (Bernhard et al., 2011), бактерии, участвующие в цикле серы (Tsuchiya et al., 2015), и цианобактерии (Prazeres et al., 2017). Метабаркодинг по гену 16S рРНК представителей пяти видов глубоководных бентосных фораминифер из различных микроместообитаний, показал, что каждый вид обладает уникальным микробиомом, отличающимся от других видов фораминифер и от бактериальных сообществ окружающего осадка (Salonen et al., 2021). Это предполагает наличие уникальных симбиотических связей между видами фораминифер и бактерий.

Литораль ─ это высокопродуктивная зона моря, в которой происходит колоссальный объём трансформации органического вещества. Существенную роль в этих процессах играют фораминиферы и, вероятно, их бактериальные симбионты. Однако о сути этих процессов известно немного. В рамках этой пилотной работы мы пытались понять, применима ли к литоральным фораминиферам закономерность, выявленная для глубоководных видов, а именно: существует ли приуроченность определённых таксонов бактерий к определённым видам фораминифер и отличается ли микробиом внутри фораминифер от микробиома осадка. Если да, то какие таксоны бактерий специфичны для литоральных фораминифер и какова их потенциальная роль в метаболизме фораминифер.

Для анализа бактериофлоры фораминифер, мы получили выборки десяти видов фораминифер и пробы фонового грунта на литорали Белого и Баренцева морей в 2021-2025гг. Фораминифер отмывали в фильтрованной (<0.22 мкм) морской воде. Пробы отрицательного контроля брали при полевой подготовке и при лабораторной обработке. После экстракции с использованием PowerSoil Pro Kit и ПЦР амплификации ДНК образцы были переданы в Пекинский институт геномики (Beijing Genomics Institute), который подготовил библиотеки и выполнил секвенирование вариабельного V1-V3 участка гена 16S рРНК по технологии DNBSEQ. Всего 85 проб фораминифер и грунта имели достаточно прочтений. Мы провели биоинформатическую обработку (алгоритм DADA2 с последующим созданием ASV и установлением их таксономического положения с использованием наивного баесовского классификатора, обученного на последней версии базы данных SILVA), подготовили визуализацию результатов (боксплоты уровня разнообразия, nMDS-ординацию, графики относительного обилия наиболее многочисленных таксонов бактерий). Использованный молекулярный маркер позволял идентифицировать бактерий до рода или семейства.

Из ~32,000 таксонов бактерий, выявленных метабаркодингом, 6 таксонов были обильны в клетках фораминифер и отсутствовали или были малочисленны в пробах вмещающего грунта – соответственно, мы интерпретируем эти таксоны как специфичную для фораминифер бактериофлору. Описанная в литературе специфика метаболизма этих

бактерий очерчивает биологические особенности микробиома исследованных литоральных фораминифер:

Четыре таксона – *Marinomonas, Pseudoalteromonas, Psychrosphaera* и *Reinekea* – это облигатные аэробы, окисляют органическое вещество, населяют исключительно морские биотопы, их часто отмечали в симбиозе с эукариотами. Первые три холодолюбивы – их мембраны сохраняют текучесть при низких температурах за счет присутствия специфичных жирных кислот. *Marinomonas* помимо того синтезируют уникальные белки, препятствующие росту кристаллов льда в цитоплазме (Antifreeze Proteins). *Pseudoalteromonas* и *Reinekea* имеют ферменты, расщепляющие стойкие полисахариды клеточных стенок водорослей, и ферменты для расщепления хитина экзоскелета рачков и науплиусов, которые сохраняют высочайшую активность при низкой температуре. *Pseudoalteromonas* помимо того продуцирует токсины с бактериоцидным, фунгицидным и альгицидным действием (алкалоиды, циклические пептиды и бромированные соединения).

Arcobacteraceae тоже реминерализуют органику, однако в отличие от вышеперечисленных таксонов, эврибионтны и демонстрируют чрезвычайно вариабельный метаболизм. Живут при концентрации кислорода от нормального уровня до нуля, при этом предпочитают гипоксию (пониженная концентрация). Многие представители семейства являются миксотрофами: могут идти по пути обычной минерализации органического вещества или же фиксируют неорганический углерод через обратный цикл трикарбоновых кислот. Способны к хемолитотрофии: окисляют сероводород и тиосульфаты. В отсутствии кислорода используют альтернативные акцепторы электронов: марганец, нитрат, железо, и даже экзотические акцепторы, такие как селен, мышьяк и перхлораты.

Amoebophilaceae резко отличны. Они облигатно ведут внутриклеточный образ жизни. Известны из цитоплазмы клеток пресноводных амёб и морских красных водорослей. Геном редуцирован, содержит эукариотические элементы, которые позволяют ускользать от защитных реакций хозяина (атаки лизосом). Живут непосредственно в цитозоле без паразитофорной вакуоли, и получают прямой доступ к ресурсам клетки. В нашем материале встречены только у одного вида фораминифер (*Ammobaculites* cf. *agglutinans*).

Таким образом, полученные результаты указывают на то, что бактерии специфичные для литоральных фораминифер Белого и Баренцева в большинстве своем это холодолюбивые морские формы, метаболизм которых завязан на утилизацию органического вещества, в том числе стойких биополимеров. Неожиданен результат, что большинство отмеченных специфичных для фораминифер таксонов бактерий строго аэробны, ведь восстановленный осадок, нередко даже зараженный сероводородом, располагается в немногих миллиметрах или сантиметрах под поверхностью литорального грунта. Бактерии *Amoebophilaceae,* вероятно, выступают внутриклеточными паразитами фораминифер.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №25-24-01058 https://rscf.ru/project/25-24-01058/.

Регенеративный потенциал клеточных слоев сцифистом *Aurelia aurita* (Linnaeus, 1758)

И.А. Косевич*, П.А. Виноградова

[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия.*

*E-Mail: ikosevich@gmail.com

Способность к регенерации, то есть восстановлению поврежденных тканей и органов, а также восстановление целого организма из его фрагмента или диссоциированных клеток, относится к числу фундаментальных свойств живых систем. Несмотря на длительную историю изучения, механизмы, обеспечивающие реализацию морфогенетических программ при регенерации, остаются во многом малоизученными. Классическими моделями в этой области служат представители низших многоклеточных животных, относящихся к типу Cnidaria, в частности кораллы и гидроидные.

Представители Сцифоидных (Scyphozoa) в этом аспекте изучены в меньшей степени. Для большинства видов сцифоидных характерен сложный жизненный цикл, который включает стадию сидячего полипа, называемого сцифистомой, и свободноплавающую медузу. Показано, что сцифистомы представителей рода *Aurelia* обладают высоким регенеративным потенциалом, включая способность к регенерации целого организма из небольших фрагментов тела и фрагментов отдельных клеточных слоев (напр., Gilchrist, 1937; Steinberg, 1963; Lesh-Laure, Corriel, 1973). Однако большинство проведенных исследований по регенерации у сцифоидных носили описательный характер. Клеточные и регуляторные механизмы, лежащие в основе регенерации целого организма, остаются малоизученными. Особый интерес представляет вопрос о вкладе различных клеточных слоев в этот процесс.

Настоящее исследование было направлено на сравнение регенеративного потенциала эпидермиса и гастродермиса у сцифистом *A. aurita*, оценку динамики и роли пролиферации клеток в этом процессе. В работе использовали клональную культуру сцифистом *A. aurita*. (Linnaeus, 1758) из Черного моря. Слои эпителиев — эпидермис и гастродермис — получали механическим разделением фрагментов чашечки и ножки предварительно анестезированных сцифистом. Изолированные фрагменты культивировали в чашка Петри в фильтрованной искусственной морской воде при температуре 16–18°C. Процесс регенерации наблюдали и регистрировали в течение 10–15 дней с помощью стереомикроскопа, оснащенного цифровой фотокамерой. Для изучения анатомии и ультраструктуры регенерантов были приготовлены полутонкие и ультратонкие срезы. Для косвенной оценки динамики пролиферации клеток в разные моменты времени использовали мечение EdU (5-этинил-2'-дезоксиуридином), включение которого выявляли с помощью «клик-реакции» и конфокальной микроскопии. Серии экспериментов в нескольких повторностях проводили в разное время в 2025—2026 гг. В каждой серии эксперимента получали от 10 до 30 фрагментов. Всего было проведено наблюдение за процессом регенерации более 300 фрагментов эпидермы и 300 фрагментов гастродермы.

Проведенные эксперименты показали принципиальную разницу в способности клеточных слоев сцифистом к регенерации целого организма. В течение 1—2 суток после разделения эпителиальные фрагменты округлялись, формируя замкнутые «шарики». Иногда внутри этих «шариков» можно было наблюдать небольшие включения. Начиная с 7— суток после разделения в эпидермальных фрагментах появляются зачатки манубриума и щупалец. Практически 90—95% эктодермальных фрагментов в течение 10—15 суток завершили регенерацию формированием полноценного полипа, напоминающего первичный полип, образующийся в результате метаморфоза планулы. Основное отличие развития полипа при регенерации из эпидермального фрагмента от такового при метаморфозе планулы – это порядок появления зачатков щупалец.

Трансформация гастродермальных фрагментов также начинается с формирования замкнутых

однослойных «шариков», которые длительное время медленно плавают благодаря работе жгутиков. В отличие от эктодермальных фрагментов, гастродермальные фрагменты длительное время – более 5—7 суток – остаются неприкрепленными и не показывают никаких изменений в своем строении. Спустя 7—8 суток гастродермальные фрагменты перестают плавать, оседают на дно и подвергаются медленной деградации: постепенно такие фрагменты рассыпаются на отдельные клетки. Из всех полученных гастродермальных фрагментов лишь три завершили регенерацию формированием полноценного полипа.

Анализ гистологического строения развивающихся эпидермальных фрагментов показал, что на 2—3 сутки после формирования замкнутых «шариков» в них появляется скопление клеток, которое постепенно увеличивается по размерам. Источник появления этих клеток однозначно установить не удалось. Возможно, часть этих клеток представляют собой амебоидные клетки, которые всегда присутствуют в мезоглее сцифистом, и которые остаются в мезоглее изолированных эпидермальных фрагментов. Вместе с тем, изучение ультраструктуры развивающихся эпидермальных фрагментов не исключает возможность перемещения клеток эпидермы из состава эпителия внутрь «шарика» с последующей трансдифференцировкой в гастродермальные клетки.

Анализ клеточной пролиферации показал, что после разделения клеточных слоев в развивающихся эпидермальных фрагментах уровень пролиферации несколько снижается по сравнению с интактными сцифистомами. Интересен тот факт, что и в интактных сцифистомах, и в эпидермальных фрагментах пролиферирующие клетки обнаруживаются преимущественно в наружном эпителии. Основная масса делящихся клеток располагается в эпидерме чашечки и манубриума интактной сцифистомы, и в наружном слое регенерирующего эпидермального фрагмента. Во внутренней массе клеток развивающегося эпидермального фрагмента делящихся клеток не было выявлено. Повышения уровня пролиферации в эпидермальных фрагментах в целом не наблюдается. Подавление пролиферации замедлило процесс регенерации, но не препятствовало ему.

Полученные результаты позволяют утверждать, что только фрагменты, содержащие эпидермальный слой клеток сцифистом *A. aurita*, способны к регенерации целого организма с образованием полноценных полипов. Эпидермис представляет собой организующий центра регенерации у сцифистом *A. aurita* и является незаменимым и достаточным источником клеток для реорганизации осевой структуры и формирования нового организма. Гастродермис, по-видимому, играет вспомогательную роль и не способен к самостоятельной регенерации. Амебоидные клетки, обнаруженные в мезоглее, вероятно, не играют существенной роли в образовании полипов. Полученные данные служат основой для дальнейших исследований молекулярных механизмов, регулирующих процесс регенерации целого организма из отдельного эпителиального фрагмента.

Исследование выполнено в рамках научного проекта государственного задания МГУ № 126021717480-3.

Функциональное зонирование экосистемы прибрежного меромиктического озера Трехцветное

Е.Д. Краснова[1]*, Д.А. Воронов[2], Е.А. Лабунская[1], Ю.В. Миндолина[3], А.О. Плотников[3]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;
[2]Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича, РАН, Москва, Россия;
[3]Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Оренбург, Россия.
*E-mail: e_d_krasnova@mail.ru

Меромиксия – устойчивая стратификация водоема, сохраняющаяся многие годы. Полной вертикальной циркуляции в них препятствует градиент плотности воды между миксолимнионом (опресненным верхним слоем, подверженным перемешиванию) и монимолимнионом (нижней застойной зоной с повышенной концентрацией растворенных минеральных и органических веществ). Следствия ограниченной циркуляции включают придонную аноксию, подводный парниковый эффект, накопление кислорода под пикноклином, мезотермию, постоянство придонной температуры и резкие градиенты между аэробной и анаэробной зонами. Изучение меромиктических озер актуально ввиду глобального тренда к усилению стратификации и гипоксии в морях и пресноводных водоемах из-за потепления климата и эвтрофирования. В России известно 54 таких водоема, из них 32 – прибрежные. Лучше всего обследовано беломорское побережье, где найдено 15 озер, и несколько охвачено регулярными наблюдениями с 2010 г. Озеро Трехцветное находится под наблюдением более 15 лет. Собранные данные позволили составить подробную схему его вертикальной экологической зональности.

Озеро Трехцветное (66°35'32"С, 32°58'45"В, площадь 3,2 га, площадь водосбора 64,4 га, максимальная глубина 7,5 м) образовалось из морского залива в результате послеледникового поднятия берега. Современное русло стока проходит над каменистым порогом, поднявшимся выше уровня максимального прилива (0,8581 м по балтийской системе), который препятствует забросам морской воды и задерживает пресную воду, поступающую с водосбора и в виде осадков. Сложилась структура из пресного миксолимниона, реликтовой морской воды в монимолимнионе и градиентной зоны – хемоклина. Монимолимнион сульфидный (сероводород до 600 мг/л). Граница сероводорода (находится в освещенной зоне, где развивается слой зеленых серных бактерий *Chlorobium phaeovibrioides* (до 10^8 кл./л), осуществляющих аноксигенный фотосинтез. Из-за трех слоев разного цвета озеро получило свое название: торфяной миксолимнион темно-коричневый, прослойка бактерий – мутно-зеленая, монимолимнион – лимонно-желтый.

С 2010 г. вертикальная структура оставалась постоянной. Единственный эпизод турбулентности произошел осенью 2011 г. из-за заброса морской воды при аномальном нагоне, что привело к осолонению поверхности (до 1,6‰) и подъему границы сероводородной зоны с 2,2 м до 1,5 м. Опреснение миксолимниона заняло 5 лет. Через два года граница опустилась до 1,9 м, а с 2019 г. стабилизировалась на 2,1 м. Монимолимнион (глубже 4 м) затронут не был, что подтверждает высокую устойчивость гидрологической структуры.

Вертикальная зональность определяется градиентами солености, температуры, доступного света и концентрации биогенов, а также биологическими факторами (сульфатредукция и «бактериальная пластина»).

Градиент солености. Под пресным миксолимнионом (1–1,8 м) располагается резкий хемоклин, возле дна соленость достигает 22‰. Выделено три типа сообществ: 1) миксобионты (обитающие в миксолимнионе); характерные представители: зеленые водоросли *Monoraphidium contortum*, динофлагелляты *Ceratium hirundinella*, большинство коловраток; 2) клинобионты (приуроченные к хемоклину), в их числе: зеленые

жгутиконосцы *Scourfieldia cordiformis*, миксотрофные *Euglena* sp., большая часть криптофитовых, диатомеи, использующие скачок плотности как ложное дно, инфузории *Coleps* sp. и *Paramecium* sp., коловратки *Synchaeta* sp. и ветвистоусые рачки *Bosmina longirostris*, в кишечниках и экстрактах которых зарегистрирован бактериохлорофилл серных бактерий; 3) монобионты (населяющие анаэробную зону): например, жгутиконосцы *Carpediemonas* sp. и анаэробные инфузории *Plagiopyla* sp. Инфузории демонстрируют микропространственное распределение по вертикали в сантиметровом масштабе.

Диапазон сезонных колебаний температуры. Главный вертикальный тренд – уменьшение диапазона температур с глубиной. У поверхности он максимален (0–25°C), на глубине 1,5 м – 2–16°C, на 3 м – 5–9°C, а у дна температура постоянна (+6°C). Сезонный прогрев нижних слоев сильно запаздывает: в 2024 г. у поверхности максимум пришелся на конец июля, на 1 м – на месяц позже, на 2 м – еще на месяц, на 3 м – в октябре, а на 4–5 м температура слегка возросла лишь в январе. Динамичный тепловой режим поверхности обеспечивает сезонную сукцессию планктона, тогда как в глубоких слоях сообщества стабильны годами. Например, вегетация *Euglena* sp. длилась несколько лет без перерыва.

Вертикальное распределение биогенных элементов. Из-за отсутствия рециркуляции поток биогенов однонаправлен (сверху вниз). В монимолимнионе они накапливаются, а миксолимнион олиготрофизуется. Обратная диффузия ограничена, поэтому хемоклин становится «оазисом» для теневыносливых фототрофов. Здесь в массе развиваются одноклеточные водоросли, нередко придавая цвет соответствующей прослойке воды. Избыток биогенов в анаэробной зоне поддерживает богатое бактериальное сообщество, осуществляющее геохимические циклы углерода и серы.

Подводный световой климат. Темная торфяная вода сильно ослабляет свет. По измерениям *in situ* в первых 0,5 м теряется до 96% энергии, до глубины 1 м доходит 1-5%. Гуминовые вещества поглощают коротковолновую часть спектра, и на глубине 1,5 м остается только красно-оранжевый свет (580-700 нм). Это объясняет доминирование зеленоокрашенной формы серных бактерий *C. phaeovibrioides*. По наблюдениям 2024 г., граница фотической зоны (1% света) летом находилась на 1 м, а к осени опускалась до 1,7 м. У поверхности концентрируются светолюбивые золотистые водоросли *Uroglena* sp., а в хемоклине – теневыносливые криптофитовые с пигментом фикоцианином и автотрофные клинобионты с хлорофиллами a и b, использующие их в качестве основных антенных пигментов.

Окислительно-восстановительный градиент. В анаэробной зоне сероводород образуется в результате высокой активности бактерий-сульфатредукторов. В формировании первичной продукции очень велика роль аноксигенных фототрофов. За счет их активности скорость ассимиляции CO_2 в хемоклине в 5-6 раз превышает оксигенный фотосинтез. Зимой его скорость лишь вдвое меньше летней. Серные бактерии могут участвовать в пищевых цепях через бактериотрофов и миксотрофов, включающих протисты и зоопланктон, обеспечивая перенос органического вещества на другие трофические уровни и потребление углекислоты, продуцируемой в процессе деструкции растворенного и взвешенного органического вещества в монимолимнионе. Вопрос об их пищевой ценности и роли в переносе углерода из анаэробной зоны остается открытым. Анаэробная зона также служит местообитанием для сообществ анаэробных прокариот. ДНК метабаркодинг по гену 16S рРНК впервые выявил 90 родов прокариот в монимолимнионе, включая разнообразных архей фил *Nanoarchaeota, Asgardarchaeota, Iainarchaeota* и *Nanohaloarchaeota*. Находки асгардархей, в частности рода *Lokiarchaeum*, считающихся ближайшими родственниками предков первых эукариот, придают прокариотному сообществу монимолимниона определенное сходство с древними архейскими сообществами.

В трансарктический вояж «Камчатка – Белое»
отправляется трематода смелая

Г.А. Кремнев[1]*, Д.Г. Балыко[2], А.И. Соколова[1, 2], А.Д. Лянгузова[1],
А.Г. Гончар[1, 2], Д.Ю. Крупенко[1]
[1] Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия;
[2] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: Georgiy.Kremnev@zin.ru

Морская фауна Белого моря преимущественно молодая и представлена вселенцами из Пацифики или Атлантики, заселившими этот водоем после отступления ледника в конце Плейстоцена. Миграционные пути неплохо прослежены для ряда рыб и свободноживущих беспозвоночных, однако остаются практически не изученными для их паразитов. При этом распространение паразитов, особенно обладающих гетероксенными жизненными циклами, неизбежно привязано к распространению их хозяев. Это позволяет использовать их как дополнительный, независимый источник знаний о путях заселения фауны Арктики и Субарктики.

Объект нашего интереса – обычная для Белого моря трематода *Neophasis oculata* (Levinsen, 1881) Miller, 1941, использующая морских рыб (преимущественно сем. Cottidae) в качестве окончательных и вторых промежуточных хозяев, а брюхоногих моллюсков *Buccinum undatum* Linnaeus, 1758 и *Neptunea despecta* (Linnaeus, 1758) из сем. Buccinidae – в качестве первого промежуточного хозяина. Это широко распространенный вид, встречающийся и в Атлантике, и вдоль арктического побережья Канады и Сибири, и на Дальнем Востоке. Как эта трематода оказалась в Белом море? Пришла ли она из Пацифики, как и большинство других беломорских беспозвоночных, и сохранились ли следы этого путешествия в ее генетической структуре? Что помогло этому виду преодолеть столь далекое расстояние? Для ответа на эти вопросы необходимо: (1) выяснить, является ли *N. oculata* единым видом на протяжении своего широкого ареала или представляет собой комплекс из нескольких видов; (2) реконструировать филогеографическую историю колонизации субарктики; (3) и, наконец, установить вероятный очаг расселения и маршрут трансарктической миграции.

Материал был собран в 2019 – 2025 гг. в морях европейской субарктики (Белое, Баренцево, Печорское моря), Арктики (Восточно-Сибирское море) и Дальнего Востока (Охотское и Японское море, тихоокеанское побережье Камчатки и Курильские острова). В общей сложности проанализировано 127 образцов, среди которых были мариты (из окончательных хозяев), метацеркарии (из вторых промежуточных хозяев) и редии (из первых промежуточных хозяев). Для всего набора данных были получены последовательности гена *nad3* мтДНК (357 п.н.), для 40 образцов был также отсеквенирован фрагмент гена *cox1* мтДНК (773 п.н.). Полученные последовательности были проанализированы методами популяционной генетики (построение сетей гаплотипов, анализ гаплотипического и нуклеотидного разнообразия, AMOVA, F_{ST}, D Таджимы, Fs Фу, тест Мантела для проверки изоляции расстоянием) и молекулярной филогенетики (анализ методом максимального правдоподобия и Байесовский анализ) для описания генетической структуры, реконструкции демографической истории и установления филогенетических взаимоотношений. Методами статистического анализа были сравнены морфометрические показатели марит (28 признаков) и размеры яиц между гаплогруппами Hg1 и Hg2.

Полученные генетические данные позволяют выделить четыре обособленные линии (гаплогруппы Hg1–Hg4; попарное F_{ST} = 0,67–0,96) в пределах номинального вида *N. oculata*, каждая с частично своим спектром хозяев и ареалом. Однако интегративный анализ (топология конкатенированного дерева, спектр хозяев, морфометрия марит) показывает, что не каждая генетическая линия заслуживает видового статуса. Так, гаплогруппы Hg1 и Hg2 не взаимно монофилетичны (хотя вместе и составляют монофилетичную кладу), они используют

перекрывающихся промежуточных и окончательных хозяев и не различаются ни по морфометрии марит, ни по размеру яиц. Вероятно, Hg1 и Hg2 являются одним трансарктическим видом с выраженной популяционной структурой, *N. oculata sensu stricto*. Напротив, гаплогруппы Hg3 и Hg4 обнаружены только в Охотском и Японском морях соответственно. Они взаимно монофилетичны, демографически стабильны и отличаются от Hg1 и Hg2 другим набором первых промежуточных хозяев, а в случае Hg3 и окончательных хозяев. Все это указывает что гаплогруппы Hg3 и Hg4 могут заслуживать статус близких, но самостоятельных видов, отдельных от *N. oculata s.s.* (Hg1+Hg2). Их дивергенция, вероятно, могла быть обусловлена циклической изоляцией окраинных морей Тихого океана во время Плейстоцена. Центром же происхождения комплекса *N. oculata sensu lato*, таким образом, скорее всего является северо-западная Пацифика.

В пределах *N. oculata s.s.* гаплогруппа Hg1 демонстрирует классические признаки недавнего расширения ареала: звездообразную сеть гаплотипов, значимые отрицательные значения D Таджимы и F-теста Фу и сильную изоляцию расстоянием (r Мантела = 0,91, p = 0,014). Все эти признаки отсутствуют у остальных трёх линий (Hg2–4). Наибольшее разнообразие Hg1 наблюдается на Камчатке (12 из 19 гаплотипов) и градиентно снижается к западу через Восточно-Сибирское, Белое и Печорское моря, вплоть до фиксации единственного гаплотипа в Баренцевом море. Это указывает на тихоокеанское побережье Камчатки как на наиболее вероятный рефугиум, откуда после отступления ледника гаплогруппа Hg1 распространилась на запад.

Отдельного упоминания заслуживает гаплогруппа Hg2, обнаруженная в Белом и Печорском (но не в Баренцевом) морях, где она сосуществует с Hg1. В отличие от субарктического гаплотипа Hg1, напрямую соединённого с центральным гаплотипом сети, Hg2 отделена от него несколькими мутационными шагами, а её низкое разнообразие (3 гаплотипа при n = 28) скорее указывает на эффект основателя, чем на длительное существование в изоляции, как у Hg3 и Hg4. Имеющиеся данные не позволяют однозначно разрешить вопрос о происхождении Hg2, но могут указывать на две (одновременные или разнесенные по времени) волны миграции на запад в пределах *N. oculata s.s.*

Итак, обитающая в Белом море трематода *N. oculata* представляет собой единый вид с выраженной популяционной структурой, объединяющей две гаплогруппы (Hg1+Hg2). Субарктические популяции *N. oculata*, вероятно, являются недавними вселенцами из Тихого океана, пришедшими в регион после отступления ледника, как и большинство других беломорских беспозвоночных. Но почему трансарктический вояж совершила только *N. oculata s.s.*, а не Hg3 и Hg4? Могла ли этому способствовать (или помешать) разница в спектре первых промежуточных хозяев? И кто был исходным таким хозяином для рода *Neophasis* Stafford, 1904? Мы с удовольствием обсудим эти и другие вопросы у нашего постера.

В сборе материала принимало участие невероятное количество друзей и коллег, и мы благодарны им всем за их помощь. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-24-00386.

Первый опыт использования метабаркодинга для определения спектра питания голожаберных моллюсков (Gastropoda: Nudibranchia)

Н.Р. Крупицкая[1]*, И.А. Екимова[1], Д.М. Щепетов[2], В.В. Малахов[1]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;
[2]The Steinhardt Museum of Natural History, Israel National Center for Biodiversity Studies, Tel Aviv-Yafo 6997801, Israel.
*E-mail nelly-karimova@yandex.ru

Голожаберные моллюски (Nudibranchia) – таксономически и экологически разнообразная группа морских беспозвоночных животных. Их эволюция тесно связана с переходом на различные объекты питания, что привело к модификации и специализации пищедобывательного аппарата и появлению новых типов питания. Следствием пищевых предпочтений являются и специализированные способы защиты голожаберных моллюсков, которые демонстрируют значительное разнообразие. Голожаберные моллюски являются важной частью донных сообществ, и для многих из них выбор пищевых объектов зачастую видоспецифичен или специфичен для рода. Таким образом, точное определение спектра питания голожаберных моллюсков важно для изучения закономерностей эволюции этой группы. Однако идентификация содержимого пищеварительной системы голожаберных моллюсков затруднена, а зачастую невозможна. На это влияют такие факторы, как своевременная фиксация материала, скорость пищеварения у разных видов, а также невозможность культивации изучаемых объектов в лабораторных условиях. Одним из методов, который теоретически способен обойти перечисленные ограничения, является метабаркодинг – видовая идентификация организмов на основе анализа коротких участков ДНК.

Нами впервые были получены данные о пищевой специализации арктических представителей семейств Dendronotidae и Cadlinidae методом метабаркодинга (участки генов 16S и 28S), дополненные анализом содержимого желудков голожаберных моллюсков методами световой микроскопии и сканирующей электронной микроскопии для подтверждения идентификации.

Нами было выявлено, что видовой состав желудков у разных видов *Dendronotus* различается, особенно у видов с исключительно тихоокеанским распространением, что отчасти подтверждает гипотезу об адаптивной радиации моллюсков этой группы на основе трофической специализации. Большинство изученных моллюсков питаются гидроидами семейств Campanulariidae и Sertulariidae. В желудках некоторых арктических *D. lacteus* (W. Thompson, 1840) идентифицированы нехарактерные объекты питания – офиуры *Gorgonocephalus* (наряду с представителями семейства Sertulariidae), в желудках тихоокеанских *D. dalli Bergh, 1879* – морские перья Pennatulacea (наряду с гидроидами *Abietinaria*, *Thuiaria*).

В составе содержимого желудков *Cadlina* spp. в большинстве случаев идентифицированы губки *Haliclona*, *Halisarca*, *Halichondria*. В одном образце идентифицирован большой спектр морских организмов (двустворчатые моллюски, асцидии *Molgula*, *Styella*, полихеты *Spirorbis*). Полученные данные указывают на неспецифичность питания представителей комплекса видов *Cadlina laevis* (Linnaeus, 1767). Разнообразный видовой состав содержимого желудка одного из образцов свидетельствует о том, что кадлины могут питаться не только губками, но и неспецифично собирать детрит с поверхности дна или питаться мелкими беспозвоночными и обрастаниями.

Долгое время считалось, что голожаберный моллюск питается тем гидроидом, на котором находится в момент сбора. Наши исследования опровергают эту гипотезу. Спектр питания голожаберных моллюсков может быть широким и включать в себя более шести различных

групп беспозвоночных, включая родственные группы, но чаще всего сохраняет траекторию узкой специализации.
Одним из основных методических ограничений применения метабаркодинга в наших исследованиях является слабая представленность нуклеотидных последовательностей пищевых объектов голожаберных моллюсков в генетических базах данных, поэтому видовая идентификация представителей класса Hydrozoa или Porifera молекулярными методами возможна для очень небольшого числа видов. Кроме того, существенная проблема заключается в ошибочной идентификации организмов в генетических базах данных. Решением этой проблемы может являться видовая идентификация потенциальных пищевых объектов голожаберных моллюсков в местах их сбора методами интегративной таксономии и составление атласов генетического разнообразия для дальнейшей работы.

Работа поддержана грантом РНФ № 25-74-10006.

Сравнительный анализ микробиома пустого кишечника близкородственных моллюсков *Littorina fabalis* и *Littorina obtusata*

Д.С. Курячий*, Е.Р. Гафарова, А.И. Гранович

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

*E-mail: dkuracij@gmail.com

Хорошо известно, что микроорганизмы, ассоциированные с многоклеточными, могут влиять на адаптивный потенциал своих хозяев. Кишечный микробиом животных включает резидентный (автохтонный) компонент, формирующий устойчивые ассоциации с хозяином, и транзитный (аллохтонный), поступающий с пищей и из окружающей среды. Пищевые предпочтения близкородственных видов и их микробиотопическое распределение влияют на спектр микроорганизмов, поступающих с пищей и задерживающихся в ассоциации с хозяином, то есть на формирование видоспецифического микробиома. Это ставит важный вопрос о судьбе ассоциированного микробиома в ходе экологически обусловленного видообразования. Однако состав транзитной фракции может существенно меняться в зависимости от сезона, поведения хозяина и доступных микробиотопов, маскируя видоспецифические особенности резидентного микробиома. Поэтому для оценки устойчивых межвидовых различий необходимо отделить резидентный компонент от транзитной микробиоты.

В качестве модели мы выбрали два близкородственных недавно дивергировавших вида моллюсков *Littorina fabalis* и *Littorina obtusata*, обитающих в условиях симпатрии. Они широко представлены на европейских побережьях североатлантических морей и обитают в зоне фукоидов. Однако предпочтительные субстраты отличаются: *L. fabalis* предпочитает *Fucus serratus* в нижней литорали и верхней сублиторали, тогда как *L. obtusata* тяготеет к *F. vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* в средней и нижней литорали. Виды различаются и по характеру питания: *L. obtusata* активно потребляет ткани талломов фукоидов, тогда как *L. fabalis*, по всей видимости, ограничивается соскребанием эпифитной микрофлоры с их поверхности. В ранее выполненных работах нашего коллектива было показано, что летом кишечный микробиом этих симпатрических видов статистически значимо различается, причём для каждого из них характерен специфичный набор бактериальных таксонов. Однако осенью межвидовые различия в составе микробиома исчезают на фоне снижения альфа-разнообразия микробного сообщества у обоих видов. Оставалось неясным, отражает ли эта сезонная гомогенизация утрату видоспецифичности резидентного микробного сообщества или конвергенцию транзитной фракции.

Для разграничения резидентного и транзитного компонентов кишечного микробиома был поставлен эксперимент по элиминации транзитных бактерий путём длительного содержания моллюсков без доступа к пище (депурация). Моллюсков собирали в губе Левая (Кандалакшский залив, Белое море) в ноябре 2024 г. Особи каждого вида помещали индивидуально в отдельные лунки 6-луночных планшетов, что исключало контакт между отдельными особями и перекрёстную контаминацию. Содержание проводилось при температуре +5 °C в течение 14 суток. Для имитации естественного приливно-отливного цикла лунки дважды в сутки промывали стерильной морской водой. Реальная видовая принадлежность каждой особи была установлена после инкубации во время вскрытия. Моллюски, заражённые трематодами, в анализ включены не были. Состав бактериальных сообществ в фрагментах средней и задней кишки определяли методом метабаркодирования по гену 16S рРНК (V4 вариабельный регион). Оценивали альфа-разнообразие (индекс Шеннона, критерий Манна-Уитни) и бета-разнообразие (nMDS по матрице Брея-Кёртиса, PERMANOVA). Для идентификации потенциальных маркерных бактерий использовали классификатор Random Forest в веб-сервисе MicrobiomeAnalyst.

После 14-дневной депурации резидентный микробиом сохранил статистически значимые межвидовые различия как по составу сообщества (PERMANOVA, $p = 0.00021$, $R^2 = 0.10$), так и

по альфа-разнообразию: индекс Шеннона был значимо выше у *L. obtusata*, чем у *L. fabalis* (критерий Манна-Уитни, p = 0.00049). После удаления транзитной фракции различия между *L. fabalis* и *L. obtusata* были выявлены. Это позволяет предположить, что отсутствие различий в полном кишечнике осенью связано с присутствием транзитных бактерий, тогда как резидентный микробиом сохраняет видоспецифичность.

На уровне классов в составе резидентного микробиома обоих видов преобладали Gammaproteobacteria; в меньшей степени были представлены Bacteroidia, Fusobacteriia, Alphaproteobacteria и Verrucomicrobiae. При этом у *L. obtusata* была выше относительная доля Bacteroidia и Alphaproteobacteria, а у *L. fabalis* – Verrucomicrobiae. На уровне родов у обоих видов доминировали *Psychromonas* и *Aliivibrio*. Для *L. obtusata* было характерно более высокое относительное обилие *Colwellia, Pseudoalteromonas, Vibrio* и *Wenyingzhuangia*, тогда как у *L. fabalis* более обильными были *Shewanella* и *Rubritalea*. Классификация методом Random Forest выявила в качестве маркеров *L. obtusata* роды *Granulosicoccus, Octadecabacter* и *Pseudoalteromonas*, а также ранее не выделявшийся *Arcticiflavibacter*; маркером *L. fabalis* оставался *Aliivibrio*.

Таким образом, депурация позволила выявить стабильный межвидовой сигнал, который маскировался транзитными бактериями в осенний период. Наличие в резидентном микробиоме *L. obtusata* таксонов, обладающих потенциалом деградации полифенолов, указывает на возможную функциональную роль резидентной микробиоты в толерантности к токсичным метаболитам фукоидов и поддержании экологической ниши вида. Выявленные таксоны рассматриваются как кандидаты в состав резидентной микробиоты. Полученные результаты закладывают основу для проверки функциональной роли резидентной микробиоты в поддержании экологической дивергенции этих симпатрических видов.

Исследование выполнено при поддержке научного проекта СПбГУ № 153213231.

Роль адвентивных ветвей в формировании облика талломов разных экологических форм *Fucus vesiculosus* (Кандалакшский залив Белого моря)

А.М. Кухаренко[1]*, О.В. Максимова[2]

[1]Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия;
[2]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия.
*E-mail:kukharenkoanton@yandex.ru

Бурая водоросль *Fucus vesiculosus* – абсолютный доминант твёрдых грунтов беломорской литорали. Его разветвлённые талломы растут апикально, достигая длины 60-80 см. На литорали Белого моря произрастает также карликовая моховидная экада *F. vesiculosus* ecad *muscoides* (Максимова, Мюге, 2007). У проростка функциональный апекс формируется в первые недели жизни и в дальнейшем его разделение обеспечивает регулярное дихотомическое ветвление таллома (Oltmans, 1889). После штормовых или ледовых обрывов, или воздействия фитофагов, а также при опреснении *F. vesiculosus* способен формировать адвентивные (нерегулярные) ветви на месте повреждённых частей таллома (Van Alstyne, 1989; Kinnby et al., 2019; Ruuskanen, Kiirikki, 2000). Такая ветвь растёт за счёт апекса, сформировавшегося de novo, а не наследующего первичному апексу (Fulcher, McCully, 1969). После формирования функционального апекса адвентивная ветвь развивается точно так же, как обычные (регулярные) ветви. Но её основание остаётся значительно суженным по сравнению с остальной ветвью (Moss, 1964). Плоскость деления новообразованного адвентивного апекса не совпадает с плоскостью деления апекса, наследующего первичному (регулярному). И само место образования адвентивной ветви выбивается из дихотомического паттерна ветвления *F. vesiculosus.*

Материалом для нашего исследования послужили сборы *F. vesiculosus*, проведённые в 2025-26 гг. в Кандалакшском заливе Белого моря: в районе ББС им. Н.А. Перцова МГУ и в акваториях около деревень Нильмо-губа и Чёрная Река. Местообитания, в которых были взяты пробы, различаются прибойностью и солёностью (от закрытого и опреснённого эстуария р. Чёрная до прибойного и полносолёного мыса Киндо). Всего исследовано 4 местообитания. В каждом из них отобрали по 28 – 47 талломов. Талломы выбирали методом касания тридцатиметровой линии по одному через равные промежутки. Линия располагалась параллельно урезу воды. Участок литорали для сбора материала выбирали исходя из расположения валунов на берегу так, чтобы на протяжении всей линии не было сильно выдающихся камней или скал, которые могли бы создать неравномерность в распределении ледовой тени зимой.

Талломы срезали вместе с подошвой. В лабораторию материал доставляли не более чем за час. Его немедленно очищали от обрастателей и до обработки содержали в холодильнике при 5-7°C. Каждый таллом делили на адвентивные и регулярные части, которые, в свою очередь, делили по функциональному принципу: годичные приросты разных лет, генеративные ветви и рецептакулы. Полученные фрагменты талломов упаковывали в бумажные конверты, сушили до воздушно-сухого состояния и взвешивали (влажность воздуха в помещении в период взвешивания материала составляла около 10%). Каждый таллом фотографировали с масштабом на фотоаппарат, установленный на штативе. В дальнейшем планируется определить функциональную поверхность частей таллома через получение их силуэтов на сканере. Всего обработано 139 талломов.

Талломы неприкреплённой карликовой моховидной экады *F. vesiculosus* ecad *muscoides* собирали вместе с субстратом, изымая из грунта вырезку известной площади на глубину 8 см, т.е. заведомо ниже проникновения в грунт базальных частей. Места для отбора проб различались по прибойности, заиленности грунта и глубине залегания сероводородного слоя. Всего собрали 6 вырезок площадью от 25 до 100 см^2. В лаборатории вырезку отмывали на

сите, размывали спринцовкой и разбирали пинцетами в кювете. Их осторожно очищали от нитчатых водорослей и остатков детрита, тщательно сохраняя целостность талломов. Из пробы выбирали 25-30 талломов так, чтобы в выборке был отражён весь размерный ряд. Каждый таллом, как и в случае с типичным фукусом, делили на регулярную и адвентивные части, для которых определяли площадь поверхности и воздушно-сухую массу. Всего обработано 193 таллома.

Полученные данные свидетельствуют о том, что адвентивные ветви часто играют существенную роль как на уровне отдельных талломов *F. vesiculosus*, так и на популяционном уровне.

Адвентивные ветви замещают теряемые талломом ветви, обеспечивая сохранение кустообразной формы. Важно отметить, что ветви могут теряться не только в результате механических повреждений, но и тогда, когда из всех апексов ветви формируются рецептакулы; в последнем случае после отмирания рецептакулов отмирает и вся ветвь (Тиховская, 1955; Knight, Parke, 1950). В трёх из четырёх биотопов (исключая м. Киндо) отношение медианных масс приростов текущего и прошлого лет, образованных на адвентивных и регулярных ветвях, близко к 2:3, доходя до 1:1, а отношение медианных масс рецептакулов доходит до 3:2. Нередки случаи, когда регулярная часть таллома составляет только длинный скелетный участок с несколькими молодыми веточками на конце, в то время как адвентивные ветви формируют основную массу физиологически активной ткани. Встречаются талломы, регулярная часть которых совершенно лишена физиологически активных частей. При этом вся физиологически активная масса принадлежит адвентивным ветвям, отходящим от возвышающихся над подошвой остатков регулярной части («пня»). Интересно, что в самом прибойном месте – на мысе Киндо, где из-за прибоя даже осложнён сбор материала, все обнаруженные нами на талломах адвентивные ветви были или молодыми веточками текущего года, или полностью замещающими многолетний таллом.

Часто адвентивные ветви формируются на месте повреждения плотным пучком, формируя не характерную для регулярной части *F. vesiculosus* форму ветвления, напоминающую пальму. Такая «пальма» может объединять более 10-15 молодых веточек. В некоторых случаях все они или значительная их часть становится генеративными, и тогда на талломе образуется плотный «букет» рецептакулов, которые при этом хотя и мельче, чем образующиеся на нормальных генеративных ветвях, но содержат нормально развитые скафидии и гаметангии.

Нами установлено, что адвентивные ветви играют важную роль в формировании физиологически активной биомассы в локальной популяции типичного фукуса. В трёх исследованных биотопах отношение суммарных масс приростов текущего и прошлого лет, образованных на адвентивных и регулярных ветвях, в двух случаях составляет 1:2, а в одном (мыс Песчаный) 1:1. Материал с мыса Киндо находится в обработке, но уже сейчас можно сказать, что он выпадает из этой тенденции: основная масса в собранных оттуда талломах всё-таки приходится на регулярные части.

Количество и плотность расположения адвентивных ветвей значительно влияют на облик талломов карликовой экады *F. vesiculosus* ecad *muscoides*. Поскольку при малых размерах талломов экады (3-9, не более 15 см длины) жёсткости ветвей достаточно, чтобы сохранять пространственную структуру ветвления, наличие разнонаправленных адвентивных ветвей значительно меняет облик таллома: от плоского или изогнутого правильно ветвящегося до гребенчатого или сложно-искривлённого с нерегулярным ветвлением.

Браунификация приводит к изменениям подводного светового климата беломорских меромиктических водоемов

Е.А. Лабунская[1*], В.И. Лобышев[1], Ю.Г. Соколовская[1], А.С. Нагаева[1], Д.А. Воронов[2], Е.Д. Краснова[1]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;
[2]Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича, РАН, Москва, Россия.
*E-mail: styxelenalab@gmail.com

Браунификация водоемов – один из трендов, усиливающихся в последние десятилетия. Это явление наблюдается в водоемах умеренных и высоких широт, и его причины пока до конца не понятны. Изменение цветности воды связано с повышением концентрации окрашенной фракции растворенного органического вещества и оказывает всестороннее влияние на биоценозы водоемов.

Для исследования последствий браунификации необходим ряд водоемов с последовательно возрастающей концентрацией растворенного органического вещества в них и, соответственно, усиливающейся цветностью воды. На Карельском берегу Кандалакшского залива Белого моря существует ряд водоемов, отделяющихся от моря и находящихся на разных стадиях изоляции от него. Концентрация растворенного органического вещества, как было показано нами ранее, в этом ряду возрастает. Полуизолированные от моря водоемы по своей структуре являются меромиктическими и обладают устойчивой стратификацией, это приводит к созданию различных физико-химических условий для биоты в разных слоях водоемов и сохранению их в течение длительного времени. Таким образом, меромиктические водоемы, изолированные от моря, являются оптимальными модельными объектами для исследований влияния браунификации на физико-химические условия в водоеме, в первую очередь, на оптические свойства воды и изменения светового климата. В свою очередь, эти изменения влияют на динамику фототрофных сообществ в водоеме.

Меромиктические водоемы, отделяющиеся от морской акватории, обычно обладают эвксинным типом аноксии: водоем разделен на аэробную и анаэробную зоны, между которыми располагается зона хемоклина. Анаэробная зона содержит повышенные концентрации сероводорода по причине восстановления сульфата из морской воды до сульфида бактериями-сульфатредукторами. В свою очередь, аэробная зона содержит кислород, попадающий в нее путем диффузии из атмосферы, а также образующийся в результате фотосинтетической активности оксигенных фототрофов, генерация кислорода сдвигает границу анаэробной зоны вниз. Кроме того, в хемоклине многих водоемов возникает цветение прокариотических аноксигенных фототрофных бактерий: зеленых серных либо пурпурных. Аноксигенный фотосинтез расходует сероводород и сдвигает границу анаэробной зоны вниз. Таким образом, два из трех компонентов, влияющих на положение хемоклина, зависят от света. В связи с этим была поставлена задача проанализировать изменения положения хемоклина в зависимости от оптических свойств толщи воды.

Спектральные свойства толщи воды исследуемых водоемов были подробно проанализированы нами в предыдущих работах, поэтому в данной работе акцент был сделан на границе фотической зоны и положении хемоклина. В определении фотической зоны есть разночтения, однако традиционно ее устанавливают, как границу проникновения света интенсивности, составляющей 1% от светового потока, падающего на поверхность водоема. Целью нашей работы являлось выявление зависимости положения хемоклина от размеров фотической зоны. Дополнительно к 1% порогу освещенности мы добавили 0.1% границу распространения света, учитывая, что аноксигенные фототрофные бактерии способны фотосинтезировать при меньших интенсивностях света, чем эукариоты.

Для анализа были взяты вертикальные профили освещенности, полученные при помощи погружного люксметра за последние 6 лет, 1% и 0.1% пороги освещенности определяли

методом линейной интерполяции. Сведения о положении редокс-перехода (учитывали горизонт с первым отрицательным редокс-потенциалом) и глубины слоев с цветением эу- и прокариотических фототрофных организмов. В ряде водоемов прокариотический слой располагается под эукариотическим, в некоторых имеется только плотный слой фототрофных прокариот. Во всех случаях слой находится в зоне хемоклина, однако может быть протяженным, поэтому учитывали положение верхней границы слоя. Взаимосвязь исследуемых параметров анализировали методом линейной регрессии. Для характеристики совпадения параметров использовали коэффициент угла наклона линейного тренда α.

Анализ данных по всем водоемам ряда показал, что положение редокс-перехода лучше совпадает с положением 1%, а не 0.1% границы распространения света (α = 1.04, для 0.1% − 0.90, p <0.0001). Рассмотрение водоемов с преобладанием эукариот либо прокариот в хемоклине по отдельности показало, что для первых характерно более высокая степень совпадения редокс-перехода с 1% границей распространения света, а для вторых – с 0.1% границей. Слои про- и эукариот лучше совпадают с 0.1% и 1% границами распространения света соответственно. Слабо изолированные водоемы с низкой цветностью имеют большую фотическую зону. В Бухте Биофильтров свет распространяется почти до дна, и положение горизонтов с цветением бактерий и микроводорослей слабо зависит от 1% и 0.1% границ, в отличие от других водоемов. Вероятно, в этом водоеме на положение хемоклина влияют другие факторы. В Лагуне на Зеленом Мысе и озере Кисло-Сладкое 1% и 0.1% границы сильно сближены из-за резкого ослабления света в пределах слоя цветения криптофитовых водорослей в хемоклине, и горизонт с прокариотами преимущественно находится ниже 0.1% границы. Водоемы с высокой степенью браунификации имеют небольшой размер фотической зоны, и слой цветения в хемоклине сформирован, в первую очередь бактериальной пластиной из аноксигенных фототрофных бактерий. В этих водоемах (озера Б. Хрусломены, Еловое, Трехцветное) редокс-переход и положение бактериальной пластины с высокой точностью совпадают с 0.1% границей распространения света. Максимальная интенсивность света, поступающего в эту зону, не превышает 0.15 – 0.17 мкмоль/м^2*с в яркий солнечный день. Известно, что зеленые серные бактерии, обитающие в этой зоне, способны расти при очень низких интенсивностях света, 0.015 мкмоль/м^2*с, но также выносят более высокие интенсивности.

Предположительно, такое распределение слоев цветения фототрофных микроорганизмов связано с их способностью к фотосинтезу при определенных условиях интенсивности и спектрального состава света. Возможно, они занимают позицию, соответствующую границе фотической зоны – области, где интенсивности и качества света минимально достаточно для формирования фототрофными организмами первичной продукции.

Экология потенциально токсичных динофлагеллят
р. *Dinophysis* (Ehrenberg, 1839) в Белом море

П.Я. Лаврентьев[1]*, П.А. Лезин[1], Н.В. Усов[1], В.В. Халаман[1],
Н.В. Анненкова[2], А.Ю. Горбунов[3]
[1]Зоологический Институт РАН, Санкт-Петербург, Россия;
[2]Институт Цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия;
[3]НИИ Гигиены, Профпатологии и Экологии Человека, Ленинградская обл., Россия.
*E-mail: Peter.Lavrentyev@zin.ru

Токсичные микроорганизмы представляют собой реальную угрозу для здоровья и хозяйственной деятельности человека в морских экосистемах, включая аркто-бореальные воды. Среди 11 видов потенциально токсичных динофлагеллят, присутствующих в Белом море, представители рода *Dinophysis* (Ehrenberg) являются доминантными. Они способны выделять окадаевую кислоту и её аналоги, которые накапливаются в тканях планктофагов. Биоаккумуляция начинается при численности *Dinophysis* в толще воды >100 клеток/л, а при ≥1000 клеток/л концентрация фитотоксинов может достигать опасного уровня. Употребление в пищу моллюсков или рыбы, содержащих ≥ 0.2 мкг/г этих токсинов, вызывает у человека острое пищевое отравление. Окадаевая кислота была обнаружена в тканях мидий *Mytilus edulis* (Linnaeus) из Кандалакшского залива (Vershinin et al. 2006). Кроме того, на Беломорском побережье хорошо известны случаи острого отравления населения сельдью в летний период, когда эта рыба нагуливается после нереста в прибрежных водах.

Основными задачами нашего исследования были: (1) Определить видовой состав и численность динофлагеллят рода *Dinophysis* в Чупинской губе и других районах Белого моря; (2) Описать их вертикальное распределение и сезонную динамику, в связи с основными факторами среды; (3) Определить скорости питания доминирующих планктонных ракообразных и двустворчатых моллюсков этими динофлагеллятами.

Для выполнения задач проекта были осуществлены сезонные наблюдения, включая период ледового покрова, на станции D-1 в устье губы Чупа близ мыса Картеш (66°19′50″ с.ш.; 33°40′06″ в.д., глубина 65 м). Кроме того, в период летней стратификации были собраны пробы планктона на нескольких продольных разрезах в пределах Губы Чупа и Керетского архипелага, а также по акватории Белого моря (Кандалакшский, Онежский, Двинский и Мезенский заливы и центральный Бассейн). Поскольку представители р. *Dinophysis* являются облигатными миксотрофами, были также изучены распределение и динамика их основного пищевого организма – ресничной инфузории *Mesodinium rubrum* (Lohmann). Пробы были собраны из поверхностного слоя и с дискретных глубин. После фиксации раствором Люголя (5% конечная концентрация) планктон был осажден в камерах Утермёля (50-100 мл) и определен и подсчитан под инвертированным микроскопом (200-1000x) Leica DMIL LED. Кроме того, на нескольких станциях были отобраны пробы для молекулярно-генетического и токсикологического анализов динофлагеллят.

Всего за период полевых исследований было собрано и обработано более 250 проб микропланктона. Инфузория *M. rubrum* присутствовала почти во всех беломорских пробах (95%). *Dinophysis acuminata* (Claparède & Lachmann) и *D. norvegica* (Ehrenberg) были встречены в половине обработанных проб (в летний период в 73%). Кроме того, 12% проб содержали *D. acuta* (Ehrenberg). Ранней весной, большая часть микропланктона, включая *M. rubrum*, была сосредоточена под нижней кромкой льда, где, несмотря на снежный покров, был доступен свет для фотосинтеза. В марте в планктоне была обнаружена динофлагеллята *D. acuminata,* при температуре воды -1.0˚C и солености 18.5. Со вскрытием льда в мае численность *M. rubrum* резко возросла. За этим последовало постепенное увеличение численности *D. acuminata* и снижение численности инфузории. В период открытой воды эти виды находились в основном в перемешиваемом слое (от поверхности до10-15 м). С прогреванием воды и установлением

стабильной стратификации наблюдался второй пик численности *M. rubrum*. В это время в планктоне появился второй массовый вид динофлагеллят, *D. norvegica*, и численность инфузорий снова снизилась. В целом, сезонные изменения численности *Dinophysis* и *Mesodinium* отражали динамику по типу «хищник–жертва». В течении сезона численность динофлагеллят в слое 0-10 м сильнее коррелировала с концентрацией хлорофилла «*a*» ($r^2 = 0.67$, $p<0.01$), чем с температурой моря ($r^2 = 0.34$, $p<0.05$).

Максимальная численность всех трех видов *Dinophysis* была обнаружена в июне 2022 г. на станции D-1 на глубине максимума хлорофилла (4,5 м) при температуре 12°C. Их общая численность достигла 10000 клеток/л. В это время нами была экспериментально определена скорость роста динофлагеллят. Клетки, отобранные из моря при температуре в 12°C, инкубировали в течение суток при 5°C без предварительной акклиматизации. Время генерации *D. norvegica* составило 27 ч, т.е. этот вид смог удвоить численность популяции за сутки, несмотря на субоптимальные условия роста.

По акватории Белого моря пиковая численность видов рода *Dinophysis* в Онежском и Двинском заливах достигала 2000 клеток/л. В Бассейне и Кандалакшском заливе она была в 1000-1350 клеток/л. Фоновая концентрация, как в прибрежных водах, так и в открытом море была в пределах 50-400 клеток/л в период летней стратификации. Исключение составила станция, расположенная в кутовой части губы Чупа, где отсутствовали динофлагелляты и *M. rubrum*. Это могло быть связано со значительным количеством копепод рода *Acartia* (Dana) на этой станции, поскольку ни температура воды, ни солёность значительно не отличались от остальных станций на этом разрезе. Во время рейса из Унской губы в Кандалакшский залив в июне 2026 г. было отмечено негативное влияние интенсивного ветрового перемешивания на численность *Dinophysis* в поверхностном слое. В Мезенской губе и в Горле численность *Dinophysis* в сентябре 2025 г. была очень низкой, 0-40 клеток/л, что также могло быть связано с неблагоприятной гидрологической обстановкой.

В проведенных на ББС лабораторных исследованиях по питанию планктонной копеподы *Calanus glacialis* (Jaschnov), и сублиторального двустворчатого моллюска *Arctica islandica* (Linnaeus), оба вида активно потребляли *D. norvegica* и, в меньшей степени, *D. acuminata*. Такое предпочтение может быть связано с клеточными размерами этих динофлагеллят (50-70 мкм у *D. norvegica* и 35-45 мкм у *D. acuminata).*

Таким образом, динофлагелляты р. *Dinophysis* в большинстве изученных районов Белого моря могут достигать численности, при которой возникает опасность биоаккумуляции токсинов в пищевых цепях. В этой связи необходимость продолжения их изучения не вызывает сомнений. Причин, по которым эти динофлагелляты доминируют в довольно суровых условиях Белого моря, может быть несколько. Несмотря на то, что их массовое появление в планктоне приходится на летний период, они хорошо адаптированы к низким температурам и низкой солености. Кроме того, постоянное присутствие и высокая численность (до 80000 клеток /л) инфузории *M. rubrum*— еще один фактор, способствующий размножению динофлагеллят рода *Dinophysis* в беломорских водах.

Работа выполнена в рамках гос. задания № 125012800889-2

Влияние низкочастотного акустического сигнала на поведенческие реакции мидии *Mytilus edulis* L.

П.А. Лезин[1]*, В.В. Халаман[1], А.К. Британков[2]

[1]*Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия;*

[2]*Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия.*

*E-mail: Peter.Lezin@zin.ru

В последние десятилетия воздействие антропогенного шума на морские организмы и экосистемы стало одним из активно развивающихся направлений исследований в морской биологии. Рост интереса к данной проблеме обусловлен увеличением интенсивности морского судоходства и расширением хозяйственной деятельности на морском шельфе (Andrew et al., 2002). Актуальность изучения шумового воздействия особенно высока для северных морей России, где в последние годы отмечается активное развитие судоходства и добычи полезных ископаемых.

Целью настоящей работы была оценка влияния искусственного низкочастотного звукового излучения на поведение морских двустворчатых моллюсков *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758 в Белом море. Работа выполнена на Беломорской биологической станции Зоологического института РАН (Кандалакшский залив Белого моря) в 2025-2026 гг. Объектом исследования послужили молодые (1+) мидии *Mytilus edulis* L. с длиной раковины 20-25 мм, собранные в акватории биостанции с подвесных искусственных субстратов. Экспериментальная установка включала установленные в изотермических камерах аквариумы и вибрационный излучатель. В качестве излучателя использовалась электродинамическая головка Creadvent номинальной мощностью 80 Вт, закрепленная внутри цилиндрического диффузора из полиацеталя. Излучатель располагался в опытном аквариуме таким образом, чтобы большая часть его корпуса находилась в воде. Возбуждение излучателя осуществлялось при помощи усилителя мощности PROLOGY M-2.80, подключенного к выходу осциллографа FNIRSI DSO510, установленного в режим генератора. Развиваемый излучателем уровень звукового давления составлял от 130 до 160 дБ относительно 1 мкПа по результатам калибровки с помощью измерительного гидрофона B&K 8103. Поскольку известно, что мидии чувствительны к звукам в диапазоне частот 5-410 Гц (Roberts et al., 2015), в экспериментах использовались гармонические сигналы с частотой 200 Гц, излучаемые на нескольких уровнях звукового давления.

В качестве поведенческих реакций мидий, регистрируемых в ответ на звуковое воздействие, оценивали скорость образования биссусных нитей, характеристики формирования агрегаций и пространственного распределения особей, а также динамику движения створок.

В проведенных экспериментах установлено, что воздействие низкочастотного излучения может сопровождаться изменением скорости формирования биссусных нитей. При уровне звукового давления 133 дБ относительно 1 мкПа отмечалось отсутствие различий среднего числа образуемых нитей в опытной и контрольной группах. При уровне сигнала 140-145 дБ относительно 1 мкПа их количество превышало контрольные значения в 2–3 раза. При увеличении уровня воздействия выше 150 дБ относительно 1 мкПа, напротив, наблюдалось снижение интенсивности биссусообразования и количества формируемых нитей.

Воздействие низкочастотного сигнала также сопровождалось изменением агрегативной активности мидий. В проведенных экспериментах отмечалось снижение числа формируемых друз и изменение их характеристик. Полученные данные указывают также на изменение характера пространственного распределения особей под воздействием звукового сигнала. В частности, наблюдалась тенденция к снижению плотности поселения мидий в зоне непосредственно под акустической головкой, где уровень звукового воздействия максимален. При помощи закрепленных на створках раковин мидий датчиков Холла и миниатюрных

магнитов было произведено исследование динамики движения створок (gaping) в норме (без звукового давления) и при воздействии низкочастотного излучения. Было обнаружено, что акустический сигнал вызывает немедленный поведенческий ответ моллюсков. Причем степень выраженности такого ответа весьма изменчива и может варьировать от кратковременного закрытия створок до длительной реакции изоляции.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о выраженной поведенческой реакции мидий на низкочастотное акустическое воздействие. Изменения характера движения створок, сходные с наблюдавшимися в настоящем исследовании, описаны для мидий и других видов двустворчатых моллюсков при различных видах стрессового воздействия и рассматриваются как один из показателей изменения физиологического состояния животных (Roberts et al., 2015). Аналогичным образом увеличение скорости формирования биссусных нитей и изменения в характере формирования друз служит ответной реакцией на внешние воздействия (Лезин, Халаман, 2007). Наблюдаемое при определенных уровнях звукового давления усиление продукции биссусных нитей по характеру может быть сопоставимо с реакциями мидий на другие стрессовые факторы, включая химическое загрязнение и присутствие хищников. Результаты настоящей работы могут быть полезны для дальнейших исследований влияния шума на морскую биоту, а также при составлении рекомендаций по использованию гидроакустических средств.

Исследования выполнены в рамках Государственных заданий ЗИН РАН № 125012800889-2 «Структура, биоразнообразие и функционирование экосистем морей Арктического бассейна в условиях меняющегося климата» и ИПФ РАН FFUF-2024-0041 «Распространение акустических волн в морской среде и верхнем слое земной коры».

Многолетние изменения макрозообентоса Двинского залива

А.А. Максимов[1]*, Д.А. Аристов[1], К.Л. Биягов[2]
[1]*Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия;*
[2]*Полярная морская геологоразведочная экспедиция, Санкт-Петербург, Россия.*
*E-mail: alexeymaximov@mail.ru

С целю выявления многолетних изменений в донных сообществах Двинского залива Белого моря нами проведены сборы макрозообентоса на станциях, где в 1926 г. Л.А. Зенкевичем (1927) впервые был выполнен количественный учет донной фауны. Сбор материала проводили на 10 станциях в сентябре 2025 г. на НИС "Профессор Владимир Кузнецов". При сборе и обработке материала мы старались по возможности следовать методике наших предшественников. Поскольку опубликованные сведения по видовому составу и численности донного населения в 1926 г. носят крайне фрагментарный характер, основное внимание в данной работе нами уделено биомассе крупных таксонов, данные по которым имеются для всех станций.

Макрозообентос на исследованных станциях был представлен организмами следующих систематических групп: полихеты (56 видов), двустворчатые (19 видов) и брюхоногие (11 видов) моллюски, каудофовеаты (1 вид), сипункулиды (1 вид), приапулиды (1 вид), немертины (определение не проводили), кишечнополостные (3 вида), иглокожие (5 видов), ракообразные (19), морские пауки (1) и оболочники (2 вида) (таблица 2). Всего был определен 121 таксон донных макробеспозвоночных. По биомассе на большинстве станций доминировали двустворчатые моллюски и полихеты. Наиболее высокая биомасса макрозообентоса была отмечена на самой мелководной станции, расположенной в южной части залива вблизи места впадения реки Северной Двины, где биомасса достигала 258 г/м^2 за счет массового развития двустворчатых моллюсков *Macoma calcarea* и *Arctica islandica*, на долю которых приходилось почти 98% биомассы всего бентоса. На более глубоких и удаленных от речного устья станциях количество моллюсков уменьшается, и ведущая роль в бентосе переходит к полихетам. При этом резко снижается общая биомасса макрозообентоса.

Полученные результаты были сопоставлены с данными первого количественного исследования донной фауны Двинского залива, выполненного Л.А. Зенкевичем в 1926 г. Хотя подробные данные по видовому составу макрозообентоса в статье Л.А. Зенкевича (1927) отсутствуют, судя по приведенному списку «руководящих форм», радикальных изменений в качественном составе макрозообентоса (по крайней мере, на уровне массовых видов) Двинского залива за 100 летний период не произошло. Основу макрозообентоса в 1926 г. составляли встречающиеся и в настоящее время виды двустворчатых моллюсков (*Macoma calcarea, Nuculana pernula, Portlandia arctica, Yoldia hyperborea*) и полихет (*Cistenides* (ранее *Pectinaria*) *hyperborea*, *Nephtys* spp., *Maldane sarsi*). Эти же формы присутствовали в Двинском заливе в 1990-х и 2000-х гг. по данным других авторов (Луканин и др., 1995; Артемьев и др., 2017). Однако, ряд доминирующих в настоящее время видов (*Arctica islandica,* голотурия *Chiridota laevis*) в списке 1926 г. не упомянуты. Существенные изменения имели место в количественном составе и распределении макрозообентоса. Средняя биомасса макрозообентоса в Двинском заливе в 2025 г. была примерно в 4 раза выше, чем в 1926 г. Повышение биомассы макрозообентоса преимущественно имело место на станциях в южной части Двинского залива. На мелководной станции в устьевой области Северной Двины биомасса макрозообентоса увеличилась на два порядка с 1.73 до 258.44 г/м^2, главным образом за счет двустворчатых моллюсков, биомасса которых увеличилась более чем в 500 раз. По мере удаления от устья Двины увеличение биомассы становится все менее заметным. На севере Двинского залива оно практически не выражено, на некоторых станциях биомасса в 2025 г. была даже ниже, чем в 1926 г. вследствие уменьшения количества двустворчатых моллюсков и полихет. Произошедшие изменения привели к

перераспределению биомассы донных животных по акватории залива. Если в настоящее время зона повышенной биомассы располагается в вершине залива, то в 1920-е гг. Л.А. Зенкевич отмечал прямо противоположную тенденцию: биомасса бентоса возрастала по мере удаления от устья Северной Двины.

Повышенные биомассы бентоса вблизи устьев рек вследствие массового развития двустворчатых моллюсков характерны для многих эстуариев, что объясняется поступлением больших количеств взвешенных органических веществ с речным стоком, в том числе вследствие хозяйственной деятельности человека. В бореальной и арктической зонах многолетнее увеличение биомассы, по-видимому, характерно, главным образом, для эстуарных водоемов, испытывающих антропогенное воздействие. В частности, многолетняя тенденция увеличения биомассы бентоса (преимущественно за счет двустворчатых моллюсков) в XX веке наблюдалась в сильно эвтрофированном Балтийском море. Эта тенденция была особенно выражена в приустьевых участках балтийских рек. Например, в Невской губе вследствие массового развития пресноводных двустворчатых моллюсков сем. Sphaeriidae и Unionidae биомасса бентоса местами превышала 1 кг/м^2, что связывали с влиянием сточных вод г. Санкт-Петербурга (Алимов и др., 1987; Golubkov, Alimov, 2010; Golubkov et al., 2026).

Можно полагать, что увеличение количества двустворчатых моллюсков в Двинском заливе Белого моря за 100-летний период, прошедший со времени первого количественного учета донной фауны, имеет аналогичные причины, а именно объясняется усилением притока органических веществ из-за воздействия антропогенных факторов (эвтрофирование Северной Двины, загрязнение бытовыми стоками городов Архангельск и Северодвинск). Ранее изменения водных биоценозов вследствие усиления антропогенный нагрузки отмечались в нижнем течении и дельте Северной Двины, где, в частности, наблюдалась высокая (в районе г. Новодвинск более 100 г/м^2) биомасса зообентоса за счет скоплений пресноводных двустворчатых моллюсков (Новоселов и др., 2022). Данные нашей работы показывают, что в настоящее время зона влияния обогащенных органическим веществом речных вод распространилась на акватории устьевого взморья и прилегающих к нему участков Двинского залива, что проявляется в образовании там плотных поселений морских моллюсков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ темы 125012800889-2).

Плотность локальных популяций карликового *Fucus vesiculosus* ecad *muscoides* (Кандалакшский залив Белого моря)

О.В. Максимова[1]*, А.М. Кухаренко[2]

[1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия;

[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия.

*****E-mail: ovmaximova@mail.ru

Карликовая моховидная экологическая форма (экада) беломорского *Fucus vesiculosus* была впервые обнаружена в эстуарии реки Чёрная и на мысе Песчаный (Кандалакшский залив, губа Чернореченская) в августе 1996 г. первым соавтором и проф. МГУ А.И. Азовским. За прошедшие 30 лет было найдено несколько её новых местообитаний, приуроченных к этому району залива. Более или менее мощные заросли встречены в губе Лапшагинская, на о. Великий (губа Коняевская), на о. Оленевский и прилежащих мелких островках, в районе деревни Нильмо-губа (о. Большой Епишкин), на территории ББС им. Н.А. Перцова МГУ (берег Великой Салмы), а также на относительно отдалённых Белых о-вах, расположенных примерно в 25 км от ББС (Максимова, Мюге, 2007; Максимова, 2017). Удивительно, но *F. vesiculosus* ecad *muscoides* не был найден в губе Чупа в районе ББС ЗИН РАН «Картеш» (2019), хотя условия для обитания карлика там превосходны, на поиски было затрачено достаточно времени, и в них принимал участие проф. А.И. Азовский.

Условия обитания карликовых фукоидов (dwarf fucoid algae) неоднократно описаны: рыхлый, главным образом заиленный, грунт, опреснение, наличие высших растений-галофитов. Моховидные карлики известны из Европы и из Северной Америки (как из Атлантики, так и из Пацифики). Их происхождение уже более 100 лет обсуждается мировым альгологическим сообществом. Показано, что они генетически связаны с определёнными «нормальными» видами (*F. vesiculosus, F. spiralis, F. ceranoides, Ascophyllum nodosum, Pelvetia canaliculata* и др.) (Максимова, 2007). В некоторых случаях карлики являются гибридами между разными видами фукусов и/или полиплоидами; например, в США и в Ирландии гибриды F1 *F. vesiculosus* и *F. spiralis* представляют собой «muscoides-like *Fucus*», обитающий в местных солёных маршах (Wallace et al., 2004; Coyer et al., 2006; Neiva et al., 2012; Sjøtun et al., 2017; Preston et al., 2025).

Происхождение карликового аскофиллума не вызывает сомнений: он отрастает от захороненных в рыхлом грунте солёных маршей и эстуариев обрывков бентоплейстонных форм «нормального» аскофиллума: *A. nodosum* ecad *mackaii* и *A. nodosum* ecad *scorpioides*. Этот процесс неоднократно наблюдали авторы. Моховидный аскофиллум *A. nodosum* ecad *muscoides* был описан как новый для науки именно из Белого моря (Максимова, Мюге, 2007).

С *Fucus vesiculosus* ecad *muscoides* всё гораздо сложнее. Гибридом он быть не может, т.к. в Белом море нет видов, которые скрещиваются с исходным видом. Сначала нам казалось, что он тоже, как аскофиллум, отрастает из обрывков талломов «нормального» фукуса, коих всегда много в солёных маршах (ibid., p. 982). Однако позднее стало очевидно, что в отношении фукуса такое мнение ошибочно: пролификации, во множестве отрастающие от захороненных в рыхлом грунте частей его талломов, разительно отличаются морфологически от талломов моховидной экады. Они «копируют» проростки фукуса (как генеты, так и раметы): имеют выраженные жилку и крыло, а также криптостомы, коих практически не бывает у моховидного карлика.

Предполагалось, что моховидные карлики могут быть генетами обычных видов, зиготы которых попали в неблагоприятные для «нормального» фукуса условия солёных маршей, но тем не менее проросли (Mathieson, Dawes, 2001). В дальнейшем они, лишённые прикрепления к твёрдому субстрату, повели себя, как и «положено» водорослям, утратившим связь с субстратом: перешли к активному пролиферированию таллома, лишились полового размножения и стали размножаться вегетативно (Максимова, 2013). Такое объяснение происхождения беломорского карлика кажется нам принципиально возможным. Впрочем, в

августе 2026 года мы обнаружили в сборах с мыса Киндо (Великая Салма) проростки *Fucus vesiculosus* несомненно текущего года, которые крепились к полуперегнившим растительным остаткам. То есть, зиготы «нормального» фукуса проросли в «нормальные» генеты, совершенно не похожие на моховидный карлик. Известно, что в опреснённых местообитаниях у фукуса наблюдается полиспермия, которая почти всегда приводит к гибели зиготы: «almost always lethal» (Lee, 2018: 456). Гипотетически возможно, что карлик может происходить от нелетальной полиспермии, причём одним из «родителей» может быть моховидный фукус, в популяциях которого в последние 15 лет всё чаще встречаются талломы с рецептакулами, исключительно мужскими. В условиях маршей они не имеют конкурентов – «нормальных» фукусов, а обрывков талломов со зрелыми рецептакулами, в том числе и женскими, в маршах встречается множество. Поскольку карлик успешно регенерирует свой таллом, продуцируя адвентивные ветви, он вполне может завоёвывать новые пространства, что мы и наблюдаем. До губы Чупа он пока просто не добрался… Конечно, высказанная гипотеза требует проверки, прежде всего – определения плоидности талломов моховидного фукуса.

Поиски того основания, от которого берут начало талломы моховидной экады, привели к более детальному исследованию её локальных популяций. В результате были уточнены их параметры, в первую очередь – плотность. В предшествующих публикациях мы базировались на малых площадях проб (25-50 см^2) и приводили значения порядка 100-130 тыс. экз./м^2 (Максимова, Мюге, 2007; Максимова, 2013; 2017). При этом использовали материал в основном из места первого обнаружения карлика и не учитывали проективное покрытие грунта карликом. По нашим наблюдениям оно может составлять от 15-25% до 60-70%, а иногда даже 90-95% на довольно обширных площадях – до нескольких десятков квадратных метров. В течение полевых сезонов 2024-26 гг. было собрано 15 количественных проб большей площади (до 266 см^2) с мыса Песчаный и из эстуария реки Чёрной, из Нильмо-губы, с о-ва Оленевский, с побережья Великой Салмы у ББС, всего из 8 местообитаний. Численность карлика определяли или прямым учётом числа талломов в пробе или пересчётом общей воздушно-сухой массы пробы по индивидуальной массе единичного таллома. Последнюю определяли для каждой пробы, учитывая размерный разброс талломов. Кроме того, учитывали длину талломов, число дихотомий, число регулярных и адвентивных апексов. Длина талломов сильно варьирует в разных местообитаниях: от 2,5-9 см на мысе Песчаный до 5-15 см на западном берегу Нильмо-губы. При этом она практически не изменяется в течение вегетационного сезона (и от года к году): нарастание верхушки таллома сбалансировано разрушением его базальной части внутри грунта, особенно в сероводородном слое. Индивидуальные воздушно-сухие массы талломов карлика варьировали для невысоких (мелких) локальных популяций от 0,003 до 0,008 г (в среднем 0,005 г), а для высоких (крупных) – от 0,006-0,012 до 0,046 г (в среднем 0,02 г).

Чем крупнее отдельные талломы, тем меньше плотность куртин карлика. Так, например, на Кладбищенской косе (эстуарий реки Чёрной) средняя масса таллома колеблется от 0,004 до 0,012 г (в среднем 0,0075 г), и плотность составляет 57,3 тыс. экз./м^2. На восточной стороне Нильмо-губы средняя масса таллома на порядок больше (0,065 г), а плотность популяции в 3 раза ниже: всего 18,6 тыс. экз./м^2. В солёном марше о-ва Оленевский плотность моховидного фукуса достигает 40 тыс. экз./м^2. На южном берегу пролива Великая Салма (территория ББС МГУ) плотность карлика выше: до 52,5 тыс. экз./м^2. Наибольшие значения этого показателя получены для популяций, расположенных на о-ве Малый Епишкин (район Нильмо-губы): для двух проб площадью 150 см^2, взятых на расстоянии нескольких метров друг от друга, плотность густых зарослей *F. vesiculosus* ecad *muscoides* составила 60,2 тыс. экз./м^2 при биомассе 1,3 кг/м^2 и 100,1 тыс. экз./м^2 при биомассе 0,5 кг/м^2.

Несмотря на полученный нами обширный материал по морфологии и развитию отдельных талломов и куртин моховидного фукуса, что будет предметом отдельного исследования, происхождение беломорского карликового фукуса по-прежнему остаётся довольно загадочным.

Разработка способа увеличения выхода товарной мидии при ее культивировании в Белом море

С.С. Малавенда[1]*, В.Г Гусев[1], А.Д. Функнер[1], В.В. Халаман[2]
[1]Мурманский арктический университет, Мурманск, Россия;
[2]Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: msergmstu@yandex.ru

В настоящий момент в республики Карелия, в районе Сон-Острова Белого моря, находится самое крупное в регионе хозяйство по выращиваю мидий. Предприятие «Северная мидия» ищет способы оптимизации культивирования моллюсков. С целью увеличения выхода продукции было принято решение подращивать некондиционную мидию. Данный способ ранее уже был успешно применен в Охотском море (Жарников, Халаман, 2012). За основу был взят метод содержания мидии в специальных рукавах (Díaz, at al., 2011). Цель настоящего исследования – проанализировать при какой плотности посадки мидий в рукава подращивание моллюсков будет наиболее эффективным. Для достижения поставленной цели в июле 2023 г. на хозяйстве был поставлен следующий эксперимент. Собранные некондиционные (не достигшие товарного размера) мидии были распределены по пяти рукавам, каждый из которых имел длину 65 сантиметров и отличался по общей массе помещенных в него моллюсков: 2 килограмма, 1.5 килограмма, 1 килограмм, 0.5 килограмма и 0.25 килограмма. Для проведения эксперимента были отобраны мидии длинной 30-40 мм., у каждого моллюска измерили длину, ширину, высоту раковины и массу каждого моллюска. Мидии были внимательно осмотрены и при необходимости с них были удалены обрастатели, затем их поместили в экспериментальные рукава. Всего для проведения эксперимента использовали 4100 мидий.

Конструкция с экспериментальными рукавами была установлена на глубине одного метра в горизонтальном положении, чтобы исключить влияние глубины на скорость роста моллюсков. Расстояние между рукавами составляло 0.5 метра. Эксперимент проводили в семи повторностях. Экспонировали рукава в течение одного года.

В ходе эксперимента было установлено, что индивидуальная скорость роста мидий увеличивается с уменьшением плотности посадки. При более низкой плотности посадки мидии имеют больше возможностей для роста и развития, что является важным фактором для их успешного доращивания. Рост и выживание мидий зависят от конкуренции за ресурсы при высокой плотности поселения, особенно в переполненных популяциях взрослых мидий, что часто встречается при плантационном доращивании. При высокой плотности посадки моллюсков возрастает внутривидовая конкуренция (Cubillo at al., 2025; Capelle et al., 2016).

С уменьшением плотности посадки уровень смертности моллюсков логарифмически снижается. Минимальный отход был зафиксирован при плотности посадки в 0.25 кг на рукав, в то время как максимальные потери наблюдались при плотности 2 кг на рукав. Согласно литературным данным, высокая плотность посадки может вызывать смертность мидий за сезон выращивания от 36 до 90% от первоначальной численности моллюсков в садке (Karayücel et al., 2015).

Соотношение массы тела моллюска к массе его раковины варьировали незначительно. Была отмечена тенденция к наибольшему накоплению массы тела моллюсков при плотностях посадки 1 и 0.5 кг на рукав, что соотносится с литературными данными. Известно, что более низкая плотность посадки способствует благоприятном набору массы у мидии (Alunno-Bruscia at al., 2001).

Общая масса мидий в рукавах в конце эксперимента во всех вариантах кроме плотности посадки 0.5 кг и 0.25 кг на рукав продемонстрировала отрицательный прирост. В процессе экспонирования в рукавах с высокой плотностью посадки общая масса моллюсков снижалась как за счет низкой скорости роста, так и за счет высокой смертности. Наиболее заметный

отрицательный прирост (более 50%) был зафиксирован при самой высокой плотности посадки (2 кг мидий на рукав), тогда как наименьшая плотность посадки продемонстрировала положительный прирост общей массы.

Таким образом, с точки зрения биологических закономерностей для данного способа подращивания мидий оптимальный является плотности посадки 0.25 кг на рукав, поскольку именно при этой плотности посадки была наибольшая скорость роста моллюсков и наименьший отход, однако это не экономически выгодно для аквафермы ввиду высоких затрат на приобретение рукавов. В связи с этим оптимальной плотностью посадки представляется 0.5 кг мидий на рукав длиной 0.65 м или 0.77 кг на 1 м стандартного рукава для выращивания мидий.

По разные стороны границы: морфологические особенности внутривидовых контактов у губок *Halichondria panicea*

П.А. Манойлина[1]*, А.Ю. Комендантов[1], Т.Г. Шапошникова[2], В.В. Халаман[1]

[1]Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия;
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: polinamanoilina@yandex.ru

Способность различать собственные и чужеродные ткани является важной составляющей внутривидовых взаимодействий у модульных беспозвоночных (Buss, 1982, 1987; Grosberg, 1988). У губок описаны различные морфологические реакции и исходы внутривидового контакта, включая слияние совместимых фрагментов, сохранение морфологически выраженной границы между несовместимыми тканями, накопление клеток мезохила в области соприкосновения и формирование внеклеточных барьеров (Van de Vyver, 1970; Van de Vyver, De Vos, 1979; Buscema, Van de Vyver, 1984a; Custódio et al., 2004; Saito, 2013). Морфологические исследования таких взаимодействий были сосредоточены преимущественно на ранних этапах реакции после контакта (Hildemann et al., 1980; Buscema, Van de Vyver, 1984b; Smith, Hildemann, 1986; Custódio et al., 2004). Значительно меньше известно о морфологии и длительности сохранения внутривидовых контактов у губок в естественных условиях при изогенном и аллогенном взаимодействии. Целью работы было охарактеризовать особенности морфологии зоны длительных изогенных и аллогенных внутривидовых контактов у беломорской губки *Halichondria panicea* (Pallas, 1766) (Porifera: Demospongiae).

Материал получен в полевом эксперименте на Беломорской биологической станции Зоологического института РАН «Картеш», в бухте Круглая губы Чупа Кандалакшского залива. Фрагменты *H. panicea* закрепляли на экспериментальных планшетах попарно на расстоянии 1 см друг от друга. Фрагменты, полученные от одной исходной особи, считали изогенными, от разных особей – аллогенными. Планшеты экспонировали в толще воды на глубине 5 м, без контакта с грунтом. На большинстве планшетов в течение первых двух месяцев от начала эксперимента соседние фрагменты дорастали друг до друга и формировали непосредственный контакт. После 2.5 месяцев экспозиции исследовали изогенные и аллогенные контакты, а после одного года совместного роста – контакт между аллогенными особями. Материал для морфологического анализа вырезали из образовавшейся зоны контакта сразу после изъятия планшетов из воды.

Для световой микроскопии образцы фиксировали в жидкости Буэна семь суток при 4 °C, отмывали и хранили в 70%-м этаноле. После обезвоживания материал заливали в парафин. Срезы толщиной 5 мкм окрашивали по Маллори и исследовали на микроскопе Leica DM 6000B. Для сканирующей электронной микроскопии образцы высушивали методом критической точки, наносили проводящее покрытие из платины и исследовали на микроскопе Quanta 250. Морфологический анализ имел описательный характер. В первую очередь оценивали наличие морфологически различимой границы между контактирующими губками и её непрерывность, а также присутствие клеточного и внеклеточного компонентов в структуре контактной зоны.

Через 2.5 месяца экспозиции как между изогенными, так и между аллогенными фрагментами наблюдалась морфологически различимая непрерывная граница. На парафиновых срезах со стороны обеих губок располагались участки интенсивно окрашенного внеклеточного матрикса, между которыми находились скопления клеток; часть клеток содержала гранулы. Единой непрерывной ткани мезохила, объединяющей соседние фрагменты, не наблюдали.

Через один год в зоне аллогенного контакта также сохранялась непрерывная выраженная граница, включавшая внеклеточный матрикс и скопления клеток. Некроза и разрушения

прилегающих тканей не обнаружено. При анализе результатов сканирующей электронной микроскопии в области длительного аллогенного контакта выявлены скопления округлых и овальных клеток среди элементов матрикса и спикул.

Выявленное по методике Маллори интенсивное синее окрашивание внеклеточного материала может указывать на повышенное содержание волокнистых компонентов матрикса. У *H. panicea* описаны многочисленные коллагеновые волокна и клетки, секретирующие коллаген при реорганизации мезохила (Riesgo et al., 2022), поэтому наблюдаемая окраска может быть связана с локальной перестройкой и уплотнением коллагенсодержащего матрикса. Однако сама окраска не позволяет установить химическую природу обнаруженного материала; для этого необходимы специальные гистохимические, иммуногистохимические или ультраструктурные методы.

Накопление клеток мезохила в зоне аллогенного контакта описано у других видов губок уже в первые часы после соприкосновения (Smith, Hildemann, 1986; Saito, 2013). В исследованном материале насыщенная клетками структура контактной зоны обнаруживалась и через один год совместного роста. Это позволяет рассматривать наблюдаемую границу не только как кратковременную стадию реакции на соприкосновение, но и как длительно поддерживаемую структуру.

Полученные данные показывают, что у *H. panicea* в естественных условиях морфологически выраженная граница сохраняется как при изогенном, так и при аллогенном контакте, причём в первом случае без бесшовного слияния фрагментов, а во втором – без выраженного некроза и разрушения прилегающих тканей. Таким образом, внутривидовой контакт у *H. panicea* не сводится к простой альтернативе «слияние совместимых фрагментов – отторжение несовместимых». Длительное сохранение морфологической обособленности контактирующих фрагментов возможно при обоих типах взаимодействия.

Работа выполнена в рамках гос. задания № 125012800889-2.

Разнообразие литорального макробентоса в окрестности деревни Пурнема (Онежский берег, Онежский залив)

Я.А. Манылова[1]*, Д.А. Аристов[2], А.В. Полоскин[3]

[1]Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия;
[2]Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия;
[3]Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), ЭБЦ «Крестовский остров», Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург, Россия;
*E-mail: ya.manylova@yandex.ru

Онежский залив Белого моря по сравнению с другими заливами имеет сложную структуру рельефа дна, берегов, динамику и стратификацию вод (Система Белого моря, 2012). Поэтому исследование донных сообществ этого залива важно для оценки влияния таких экологических факторов как, например, характер грунта или скорость течения, на пространственное распределение бентосных организмов. Кроме того, изучение сообществ Онежского залива представляет интерес для наблюдений за восстановлением экосистемы после антропогенного воздействия. В 2003 году в юго-восточной части залива произошел разлив мазута. После него несколько раз проводились исследования содержания углеводородов в грунте и бентосных организмах (Андрианов и др., 2017; Неверова, 2019; Воробьева и др., 2020), и в последних из них отмечается, что состояние экосистемы близко к естественному (Воробьева и др., 2020). В 2021 году была проведена оценка состояния макробентоса Онежского берега, охватившая участки литорали, сильно отличающиеся по экологическим условиям (Махнович, 2022). В результате была показана существенная неоднородность пространственного распределения организмов и отмечена необходимость более детального изучения данного района. Для получения взвешенной оценки в условиях сложной динамики вод и мозаичной структуры дна необходимы повторные съемки тех же участков литорали. Поэтому целью нашего исследования стало частично повторить бентосную съемку 2021 года для уточнения биоразнообразия бентосного сообщества и пространственного распределения организмов на литорали Онежского берега.

Материалом для исследования послужили сборы макробентоса, произведенные в июне 2025 года на Онежском берегу: в эстуарии р. Вейга и около м. Глубокий. В ходе работ были отобраны пробы грунта на 11 станциях, взятые на тех же координатах, что и в 2021 году: 5 станций в эстуарии р. Вейга и 6 станций в районе м. Глубокий. На каждой станции брали по три повторности с площади 0.03 м^2 и 0.25 м^2. Учитывались все организмы макробентоса в живом состоянии. Унитарных организмов подсчитывали и измеряли влажно-воздушный вес с помощью электронных весов с точностью до 0.001 г. Численность и биомассу макробентоса приводили к 1 м^2.

Всего мы обнаружили 43 таксона животных и 10 таксонов растений. По сравнению с предыдущим исследованием (Махнович, 2022) таксономический список пополнился почти на 20%. В основном, изменения затронули таксоны полихет и олигохет. Данные различия, вероятно, связаны с отличиями в методике отбора и обработки проб, а также таксономическим разрешением (например, Oligochaeta в исследовании 2021 года не были отмечены вовсе). С другой стороны, мы не обнаружили сублиторальные виды, отмеченные в 2021 году, такие как *Tridonta borealis, Hyas araneus, Flustra foliacea* и некоторые другие, а также небольшое число видов, ассоциированных с каменистыми грунтами. Эти виды были отмечены на станциях около нуля глубин в 2021 г. Таким образом, наблюдаемые различия таксономического состава между двумя съемками сложно трактовать, как изменения в составе сообщества. Скорее всего, они объясняются отличиями в методах сбора и обработки материала и тем, что в 2025 году мы повторили съемку лишь частично.

По видовому богатству все станции распадались на три группы с различающимся видовым составом. Наибольшее количество таксонов было приурочено к участку за мысом Глубокий

(44 таксона). На близком к нему участке перед мысом и в эстуарии реки Вейга оно было в два раза меньше (22 вида). Особняком стоят станции в эстуарии реки Вейга. Основными видами, определяющими своеобразие проб из эстуария, стали *Macoma balthica*, гидробииды двух видов – *Peringia ulvae* и *Ecrobia ventrosa*, а также полихеты *Nephthys minuta, Pygospio elegans* и олигохеты *Tubifex costatus*. По биомассе доминировали моллюски *M. balthica* и *Per. ulvae*. Станции, располагающиеся за мысом Глубокий, отличались от прочих за счет таких видов как *Mytilus edulis, Crangon crangon* и *Littorina obtusata*, а также бокоплавов рода *Gammarus.* Основную биомассу составляли *Fucus vesiculosus*, моллюски *Per. ulvae* и *Myt. edulis*. Для проб, взятых с участка перед мысом Глубокий, были характерны олигохеты из сем. Enchytraeidae и брюхоногий моллюск *Littorina saxatilis*. На этих станциях биомасса фукоидов была значительно меньше, что объясняет присутствие в данном сообществе *L. saxatilis*, предпочитающие каменистые грунты.

Вероятно, наблюдаемая пространственная неоднородность в распределении макробентоса на внешне монотонном исследованном участке литорали Онежского берега вызвана разницей в гранулометрическом составе грунта. В эстуарии грунт представлен среднезернистым песком с наилком (Махнович, 2022). Из-за отсутствия твердых субстратов там не могут закрепиться водоросли, следовательно, виды, живущие в зарослях макрофитов, в эстуарии не встречаются и общее видовое разнообразие снижено. Для участка Онежского берега за мысом Глубокий характерен более крупный грунт с примесью гравия и отдельными валунами. Такой субстрат дает возможность для закрепления макрофитов, на которых развиваются ассоциированные с ними виды, обеспечивающие большее таксономическое богатство.

Наши результаты дополняют картину значительной пространственной неоднородности состава и представленности макробентоса на внешне монотонном участке литорали Онежского берега. Станции группируются в три кластера, представляющие несколько отличающиеся сообщества. В эстуарии реки Вейга преобладают инфаунные организмы, составляющие сообщество фильтраторов (*Macoma balthica, Mya arenaria*) и собирающих детритофагов (брюхоногие моллюски сем. Hydrobiidae). На более открытых участках литорали за мысом Глубоким формируется сообщество макрофитов с обитающими на них эпифаунными фильтраторами (*Mytilus edulis*) и фитофагами (*Littorina obtusata*). Между этими двумя участками формируется иное сообщество, включающее олигохет из сем. Enchytraeidae и брюхоногого моллюска *L. saxatilis*.

Авторы благодарят администрацию ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский» за предоставление возможности работы на его территориях, а также лично А.А. Копытова за помощь в организации экспедиции. Кроме того, мы благодарны всем учащимся Лаборатории экологии морского бентоса (гидробиологии), помогавших на полевых этапах работы. Финансирование работ, выполненных Д.А. Аристовым, получено в рамках государственного задания Минобрнауки России для ЗИН РАН (№ темы 125012800889-2).

Гидрометеорологический буй NAECO как базовая единица мониторинга приповерхностного слоя акватории в береговой зоне

А.А. Марьина*, А.А. Драчева, В.С. Возженникова, В.В.Задорин
АО «Морские неакустические комплексы и системы», Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: info@naeco.ru

Динамику гидрометеорологических измерений в прибрежных акваториях необходимо отслеживать в режиме реального времени и во множестве точек с последующим накоплением данных в едином информационном центре, обеспечивающем доступ к рядам измерений заинтересованным, в том числе аффилированным, научным организациям. Такой подход позволяет рассматривать береговую зону не как совокупность отдельных точек наблюдений, а как распределенную систему с динамически изменяющимся состоянием.

При таких условиях особое значение имеет мониторинг приповерхностного слоя воды в береговой зоне. Именно здесь необходимо получать регулярные измерения, характеризующие текущее состояние акватории, и одновременно обеспечивать сопоставимость данных, поступающих из разных точек. Наличие единого центра сбора данных становится важной частью системы наблюдений, поскольку накопленные измерения могут использоваться для формирования непрерывных рядов и последующего анализа динамики параметров. Таким образом, задача состоит не только в увеличении количества измерительных точек, но и в создании технически однородной системы, способной функционировать в условиях, характерных для прибрежных акваторий, включая условия сезонного ледообразования.

Актуальность создания и развития автоматизированной системы мониторинга связана, в том числе, с техногенным фактором изменения природного рельефа прилегающих к естественным акваториям областей. При этом регулярные гидрометеорологические наблюдения становятся необходимой основой для консолидации фактических данных. Чем больше пространственное покрытие наблюдениями, тем более содержательным становится сформированный ряд измерений. Для практического использования особенно важно получать информацию непосредственно в процессе наблюдений. Для Белого моря необходимость такого мониторинга дополнительно связана со сложной ледовой обстановкой, предъявляющей повышенные требования к техническим средствам.

Одной из основных проблем является малое количество стационарных постов, входящих в состав сети наблюдения Росгидромета. В прибрежных акваториях и на островах Белого моря насчитывается около 30 действующих пунктов. Согласно РД 52.10.842-2017 главным критерием выбора места является репрезентативность. Одна гидрометеорологическая станция покрывает около 166 км береговой линии и около 3000 км² площади акваторий. При этом существующие организационные и экономические ограничения затрудняют существенное увеличение объема наблюдений только за счет традиционных способов их организации. Возникает необходимость дополнять существующую систему наблюдений автоматическими средствами, способными выполнять измерения и передавать результаты без постоянного присутствия персонала непосредственно в точке наблюдения. Применение оборудования без подтверждения его пригодности для ледового периода не позволяет в полной мере решить поставленную задачу.

В сложившихся обстоятельствах целесообразно дополнить существующую систему наблюдений автоматическими средствами измерений параметров прибрежной зоны акватории. Такой подход позволяет не отказываться от уже существующей системы наблюдений, а последовательно расширять ее за счет автоматизированных измерительных единиц. Перспективным элементом такой системы может выступать гидрометеорологический буй NAECO отечественного производства Его применение

позволяет организовать измерения непосредственно в акватории, в том числе в прибрежной зоне, что позволит получать данные с определенной регулярностью и сохранять их в едином информационном пространстве. При этом принципиальное значение имеет не только возможность проведения измерений, но и передача полученной информации в центр сбора данных.

Следующим этапом может стать переход к автоматическому мониторингу морской береговой линии с использованием однородных и перекрестно достоверных систем. Использование однородных средств измерений создает предпосылки для сопоставления результатов, полученных в различных точках. Размещение нескольких таких буев в точках интереса позволяет формировать распределенную систему наблюдений, а накопление результатов в едином информационном центре – сохранять непрерывность и доступность рядов измерений для заинтересованных, в том числе аффилированных, научных организаций.

Пригодность данного решения была подтверждена проведенными испытаниями. На научно-исследовательской базе Росгидромета в акватории Белого моря (остров Мудьюг) в 2022 году были успешно проведены приемочные испытания. В ходе них продемонстрировано, что гидрометеорологический буй NAECO ледового класса, оснащенный специализированным оборудованием, обеспечивает измерения температуры и солености морской воды и передает полученную информацию в центр сбора данных. Для его установки была выбрана акватория губы «Сухое море», а именно впадина глубиной 4,5 метра. Вслед за этим, с целью дополнительного подтверждения ледового класса буя был проведен второй этап приемочных испытаний в акватории Финского залива. Для постановки была выбрана точка глубиной 6,3 метра, расположенная на расстоянии 330 метров от берега. В период с 22 марта по 15 августа гидрометеорологический буй NAECO работал по прямому назначению в различных состояниях акватории: в ледовый период, в период схода льда и в чистой воде. Проведенные испытания позволяют рассматривать буй NAECO как перспективный элемент автоматизированной системы мониторинга приповерхностного слоя акватории в береговой зоне.

Полученные данные свидетельствуют о том, что использование гидрометеорологических буев NAECO ледового класса может являться базовым элементом мониторинга приповерхностного слоя акватории в береговой зоне и рассматриваться как дополнение существующей сети наблюдений. Его применение соответствует задаче расширения сети автоматических наблюдений и создания устойчивой системы получения данных в сезонно меняющихся условиях, в том числе в ледовой обстановке. Стоит отметить, что в сезонном исполнении буя помимо основных измерительных каналов внедрены и используются датчики мутности и водородного показателя (pH). Также планируется внедрение дополнительного оборудования, обеспечивающего сбор данных о химическом и биологическом потреблении кислорода (ХПК и БПК соответственно) и о гидродинамических характеристиках, таких как волнение, направление и скорость течений.

Редукция медузы у гидроидных: сравнительный морфологический анализ медуз и медузоидов у *Sarsia lovenii* (Hydrozoa, Corynidae) на разных стадиях развития

В. Месяц*, А.А. Прудковский, Б.В. Осадченко

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

*E-mail: varvarahn200@mail.ru

Гидроидные отличаются большим разнообразием жизненных циклов. Для типичных представителей Hydrozoa характерен сложный жизненный цикл (включающий личинку – планулу, полипоидную и медузоидную стадии). Основной чертой, характеризующей ветвь Hydroidolina, является редукция медузоидной стадии.

Таксономическая значимость редукции медузоидной стадии неоднозначна. Этот признак, как показано, неоднократно возникал независимо в разных линиях, тем не менее, он по-прежнему используется в классификации - как на уровне семейств, так и на уровне родов. Несмотря на длительную историю изучения, причины и морфогенетические механизмы редукции медузоидной стадии у Hydroidolina остаются практически не исследованными. Современные методы морфологического анализа к этому процессу не применялись.

Потенциально удачным объектом для исследования процесса редукции медузоидной стадии у гидроидных представляется *Sarsia lovenii* (Corynidae). Для полипов *S. lovenii* описан уникальный случай полиморфизма: разные генетические линии вида в Белом море производят в одном случае свободно плавающих медуз, а в другом - прикрепленных медузоидов.

В данной работе мы провели сравнительный морфологический анализ медуз и медузоидов у *S. lovenii* (Hydrozoa, Corynidae) на разных стадиях развития методами световой и электронной микроскопии, соотнесли их с литературными данными о развитии ранее исследованных медуз и высказали предположения о том, какие гетерохронные процессы вызывают редукцию медузоидной стадии у *S. lovenii*.

Медузоиды *S. lovenii* относятся к эумедузоидам. У них отсутствуют щупальца и глазки, однако присутствуют велюм, манубриум без рта, радиальные каналы и щупальцевые бульбы. На последних стадиях развития в гонаде обнаруживаются зрелые половые клетки. Медузоиды вплоть до зрелого состояния остаются трофически связаны с материнским полипом, тогда как у медуз половые клетки созревают уже после открепления от полипа. Кроме того, почки медуз уже на ранних стадиях приобретают компактную грушевидную форму, тогда как медузоиды в процессе развития вытягиваются.

Мы показали, что медузоиды *S. lovenii* проходят сходные с медузами стадии развития, однако при одинаковых размерах развитие некоторых структур (манубриума, радиальных каналов, велюма, субумбреллы) у них находится на более ранних стадиях. Кроме того, уже на ранних стадиях у медузоидов наблюдается масса предшественников половых клеток на манубриуме.

В медузах и медузоидах обнаружены различия по толщине перидермы, по численности и распределению книдоцитов, по форме клеток субумбреллы и энтодермальных структур, по клеточному составу манубриума, а также по строению ножки. Так, зрелые медузоиды имеют тонкую перидермальную оболочку, книдоциты и книдобласты в у них распределены в эксумбрелле, при этом активного книдогенеза в щупальцевых бульбах не наблюдается - это признаки, соответствующие ювенильным стадиям медузы. Клетки субумбреллы, радиальных каналов и энтодермальной ламеллы у медузоидов, в отличие от почек медуз, уже на ранних стадиях уплощаются. Кроме того, медузоиды имеют более широкий по сравнению с почками медуз просвет ножки, уменьшенное количество железистых клеток и увеличенное количество липидных капель в энтодерме манубриума.

Мы предполагаем, что редукция медузоидной стадии у *S. lovenii* происходит в результате неотении, что проявляется в отставании развития соматических признаков (радиальные каналы, велюм, субумбрелла, манубриум, перидерма, книдоциты) и сохранении ювенильных черт

(отсутствие глазков, щупалец, тонкая перидерма, книдоциты и книдобласты в эксумбрелле) при достижении половой зрелости.

Снижение энергетических затрат на синтез книдоцитов и на образование щупалец и глазков, вероятно, позволяет перераспределить ресурсы в пользу развития крупной гонады. Тонкая перидермальная оболочка и уплощенные клетки эпителиев способствуют вытягиванию медузоида для размещения гонады. За счет расширенного просвета ножки обеспечивается активное питание медузоида от материнского полипа.

Ультраструктурная организация тихоходки
Macrobiotus hufelandi

А.С. Мирош*, Я.И. Заботин, В.Г. Евтюгин
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия.
*E-mail: Miroshvip@yandex.ru

Представители типа Tardigrada – миниатюрные организмы, чьи размеры не превышают полутора миллиметров, представляют собой пример сочетания морфологической простоты и физиологической уникальности, выражающейся в способности выживать в экстремальных условиях среды благодаря способности к криптобиозу. Тихоходки неоднократно являлись объектом морфологических исследований, однако их ультраструктура до сих пор изучена слабо, что обусловлено, в частности, их малыми размерами и трудностью видовой идентификации.

В связи с этим целью данной работы стало изучение ультраструктурной организации кутикулы, эпидермиса и гемоцитов тихоходки, принадлежащей к группе *Macrobiotus hufelandi*, включающей ряд морфологически трудноразличимых видов. Согласно проведенной ревизии (Bertolani, Rebecchi, 1993), к «группе *hufelandi*» относятся виды с неполигональными порами кутикулы, ротовой арматурой с тремя поперечными гребнями и по меньшей мере одной полосой задних зубцов, двумя палочковидными макроплакоидами в глотке (редко тремя) и выростами скорлупы яиц в форме перевернутых бокалов.

Тихоходки были собраны в июне-июле 2024 г в пробах мха на острове Среднем Керетского архипелага Белого моря и зафиксированы в 1% глютаровом альдегиде на 0.1 М фосфатном буфере. Пробоподготовка для ТЭМ проводилась по стандартной схеме – дополнительная фиксация 1% раствором четырехокиси осмия на 0.1 М фосфатном буфере, обезвоживание спиртовым рядом (от 30% до абсолютного) и ацетоном, заливка в эпоновую смолу. Ультратонкие срезы были получены с помощью ультрамикротомов «Reichert-Jung» и «LKB», контрастированы уранил-ацетатом и цитратом свинца и исследованы с помощью ТЭМ Hitachi HT7700 Exalens в Междисциплинарном центре «Аналитическая микроскопия» Казанского (Приволжского) федерального университета.

У *Macrobiotus hufelandi* покровы состоят только из трех слоев: беспоровая, довольно компактная бесклеточная кутикула толщиной 1-2 мкм, с 3 основными слоями: эпикутикула (снаружи покрыта шероховатой хлопьевидной оболочкой), интрокутикула и прокутикула; эпидермис толщиной в одну клетку, очень тонкий (менее 0,1 мкм), но достигающий 3 мкм в участках, содержащих ядра. К эпидермису прилегают пучки гладких мышц. *У кутикулы M. hufelandi* в отличие от других тихоходок нечёткий интракутикулярный слой, под триламинарным слоем кутикула выглядит гомогенной или слабо дифференцированной. Своеобразные кутикулярные структуры выглядят как чашевидные углубления (cup-shaped depressions), отсутствуют каналы во внутренней эпикутикуле (в отличие от *Milnesium*).

Эпидермис состоит из плоского эпителия с сильно интердигитированными клетками. Плотные контакты и десмосомы нигде не обнаружены. В каждой клетке апикальный край волнистый, но лишен микроворсинок; базальная сторона плоская. Ядро расположено в центре в широкой клеточной лопасти. Присутствует крупное центральное ядрышко. Цитоплазма обильно насыщена органеллами по всей клетке. Присутствуют гранулы гликогена и вакуоли. Митохондрии довольно малы, с плотно упакованными кристами и очень темным, богатым углеводами матриксом.

Полость тела животного заполнена гемоцитами (до 6 μm в поперечнике) – клетками амебоидной формы, выполняющими защитную, запасающую и выделительную функцию. Размер клеток немного меньше, чем у *Dactylobiotus dispa* (от 8, до 9,7) и *Richtersius coronifer (11,8 до 15,6 в различных стадиях оогенеза)*. Морфология телец-накопителей у *M. hufelandi*, как и у других тихоходок, указывает на их интенсивную метаболическую активность. Они имеют

крупные ядра, комплексы Гольджи, митохондрии, рибосомы и вакуоли, содержащие резервный материал. Согласно MARCUS (1929), основная функция гемоцитов – хранение резервных материалов, и поэтому их размер и количество, как полагают, отражают пищевой статус (Poprawa, 2006; Czernekova et al., 2018).

Таким образом, показано, что кутикула данного вида сохраняет общий для тихоходок трёхслойный план (эпи-, интро- и прокутикула), однако, отличается отсутствием чёткого интракутикулярного слоя и каналов во внутренней эпикутикуле, наличием чашевидных углублений, что может иметь диагностическое значение. Эпидермис характеризуется сильной интердигитацией клеток при отсутствии десмосом и плотных контактов, а гемоциты меньше, чем у близких видов, но также демонстрируют высокую метаболическую активность.

Актуальные проблемы оценки биоразнообразия морских водорослей

Т.А. Михайлова

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

*E-mail tmikhaylova@binran.ru

Списки водорослей Белого и Баренцева морей содержатся в огромном количестве публикаций, однако все они требуют проверки. К примеру, сведения о зеленых бентосных водорослях этих морей содержаться в 139 источниках, в которых упомянуто 250 названий. Тщательная ревизия достоверно выявила только 49 видов для Белого моря и 60 видов для Баренцева, а в общей сложности для обоих морей – 61 вид. Пять названий относятся к видам, являющимся потенциальными кандидатами для флоры региона. Из обновленного списка Chlorophyta было исключено 63 названия и понимаемые под ними таксономические единицы. Это названия, чей номенклатурный и/или таксономический статус требует серьезной проверки, а также явно ошибочные определения или идентификации, не подтвержденные достаточными доказательствами (описания, иллюстрации, гербарные образцы). Большинство остальных названий представляют собой синонимы и, что совсем не редко, ошибочные наименования видов, реально обитающих в этом регионе. Двадцать семь видов из встречающихся в Белом и Баренцевом морях являются наиболее распространенными в регионе. Это все виды семейства Acrosiphonaceae, почти все виды семейств Cladophoracea и Ulvaceae, четыре вида семейства Ulvellaceae, а также *Monostroma grevillei, Urospora penicilliformis, Blidingia minima, Kornmannia leptoderma* и два вида *Ulothrix*. Полученные в результате ревизии данные вписываются в тренд уменьшения видового богатства зеленых водорослей по направлению к высоким широтам: Британия – 110 видов, Норвегия – 94, Белое и Баренцево моря – 61, Шпицберген – 51, Гренландия – 31, Новая Земля – 31, ЗФИ – 25, Северная Земля – 17.

Молекулярно-генетические данные значительно изменили наше понимание как таксономического статуса и происхождения многих видов, так и их распространения. Поэтому в последние годы все чаще стали появляться публикации с проверкой состава флор различных морей с использований методов ДНК-штрихкодирования. Благодаря такому подходу мы узнаем о существовании многих криптических видов и уточнениях в распространении уже известных. К настоящему времени опубликовано множество данных о последовательностях ДНК и филогении зеленых водорослей, в том числе обитающих в холодных северных водах, близких к Атлантическому океану. Семейства Prasiolaceae, Kornmanniaceae, Ulvaceae и Ulvellaceae наиболее изучены с филогенетической точки зрения. Так, современные исследования показали, что двуслойные виды *Ulva* из северо-восточной Атлантики, ранее идентифицированные как *Ulva lactuca*, относятся на самом деле к виду *Ulva fenestrana*, а ранние британские коллекции *Ulvaria obscura* представляют собой *Ulvaria splendens*. Вероятно, в ближайшем будущем появятся доказательства, позволяющие распространить эти данные на арктические моря.

Между тем, для некоторых групп зелёных водорослей все еще недостаточно генетических данных. Систематика и филогения порядков Acrosiphonales и Ulotrichales изучена недостаточно полно. Широкий диапазон морфологической и анатомической изменчивости видов рода *Blidingia* (пор. Ulvales) затрудняет идентификацию видов, однако имеющиеся молекулярно-генетические данные для этого рода остаются ограниченными и иногда противоречивыми.

Филогенетические исследования некоторых групп зеленых водорослей сталкиваются с различными трудностями. Например, из-за проблем с амплификацией органеллярной ДНК у представителей порядка Cladophorales большинство маркеров, используемых для морских зеленых макроводорослей, не могут быть применены при изучении этого порядка. Получение последовательностей ДНК мелких эпи- и эндофитов (Ulvellaceae и других микронитевидных зеленых водорослей), а также полноценное изучение их морфологических таксономических характеристик возможно только в культуральных условиях, для которых подходит только свежесобранный материал.

Наконец, следует признать, что названия, связанные с последовательностями ДНК в общедоступных базах данных, довольно часто ненадежны. К сожалению, встречаются случаи неверной

морфологической идентификации образцов. Кроме того, последовательности ДНК в этих базах основаны на филогенетической концепции вида, но названия видов применяются с использованием морфоанатомической концепции, поскольку они связаны с конкретными типовыми образцами, зачастую довольно древними. Как выяснилось, последовательности трех генов лектотипа *Ulva rigida* из Шведского гербария (акроним LD, Лунд) оказались отличными на видовом уровне от всех последовательностей с таким названием, депонированных в общедоступных базах данных.

Ряд недавних исследований направлен на решение этих номенклатурных проблем путем высокопроизводительного секвенирования типового материала или секвенирование следующего поколения (NGS). В настоящее время секвенировано более 40 типовых образцов *Ulva*. Полученные данные также значительно изменили представления о географическом распространении многих видов в семействе Ulvaceae. Однако аналогичные исследования еще не проводились для других семейств Chlorophyta.

Несмотря на огромное количество таксономических открытий в последние десятилетия, для многих групп морских зеленых водорослей до сих пор не существует общепринятой и устоявшейся филогенетической концепции. Учитывая вышеизложенное, а также невозможность ДНК-штрихкодирования образцов абсолютно всех видов любой региональной флоры, можно заключить, что флористические ревизии сегодня нельзя считать полными и завершенными, даже с использованием методов ДНК-баркодинга.

В этом контексте большое значение имеют крупные коллекции, включающие как современные, так и исторические образцы, причем коллекции с типовыми образцами являются наиболее ценными. Гербарий водорослей БИН РАН (акроним LE) представляет собой одну из крупнейших европейских коллекций. Типовой гербарий включает образцы 43 таксонов зеленых водорослей. В этой коллекции хранятся экземпляры оригинального материала *Ulva fusca* Postels & Ruprecht и *U. splendens* Ruprecht, синтипы *Enteromorpha maeotica* Proshkina-Lavrenko, описанного из Азовского моря, типовые образцы таксонов, описанных К.Л. Виноградовой из Белого и Баренцева морей – голотип и изотип *Capsosiphon groenlandicus* f. *magnicellularis*, голотип *Enteromorpha intestinalis* f. *murmanica*, голотип *E. prolifera* f. *simplex*, голотип и изотипы *Kornmannia leptoderma* f. *mytilicola*. Фрагмент голотипа, описанного Ф.И. Рупрехтом с Камчатки *Ulva fenestrata* и отправленного в 1976 г. К.Л. Виноградовой в Канадский Гербарий (акроним UBC, Ванкувер), был недавно секвенирован в совместной работе американских и европейских альгологов. Основная (систематическая) коллекция LE включает около 8,5 тыс. образцов зеленых водорослей, здесь содержится более 1000 образцов 35-ти видов зеленых водорослей, собранных в Баренцевом и Белом морях и датируемых с начала XIX века по наши дни. Интеграция гербарных и свежих образцов в ДНК-баркодинг позволит сопоставить генетические единицы с морфологическими видами, выявленными на основе ревизии по фенотипическим признакам.

Таким образом, коллекция LE представляет собой документальное свидетельство морфовидов более половины всего разнообразия зеленых водорослей Баренцева и Белого морей и является перспективным фондом для биогеографического изучения морских Chlorophyta в историческом аспекте и проверки альгофлоры с использованием методов геносистематики. При этом морфологические описания и иллюстрации по-прежнему не теряют своей ценности.

Свет под водой: фотосинтетическая активность фитопланктона при разном спектральном составе света в условиях беломорских меромиктических водоёмов

А.С. Нагаева[1*], А.С. Юрьева[1], Д.А. Иванова[1], Е.А. Лабунская[1], И.Г. Радченко[1], Д.А. Воронов[2], Е.Д. Краснова[1]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;
[2]Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича, РАН, Москва, Россия.
*E-mail: nastya-nagaewa24@mail.ru

Из литературы известно, что активность фотосинтетического аппарата может применяться для оценки физиологического состояния фототрофных организмов (Antal et al. 2001), а также отражать их реакцию на различные экологические факторы. Самый широко используемый метод измерения активности фотосистемы II – это детекция флуоресценции (Маторин, 2000). Методически данные измерения необходимо проводить сразу после отбора проб, т.к. изменения факторов среды (повышение температуры, изменение концентраций CO_2 и O_2) сказываются на состоянии клеток водорослей. Целью работы стала характеристика активности фотосинтетического аппарата фитопланктона меромиктических озёр.

Отбор проб производился с помощью погружного насоса на выбранных по гидрологическим характеристикам водоёма горизонтах. Для отбора проб выбиралось 6 горизонтов и учитывались параметры общей освещённости, положение пикно- / хемоклина. Пробы были отобраны в середине июля 2025 года и середине июля 2026 года из меромиктических водоёмов разной степени изоляции от Белого моря: Бухта Биофильтров, Лагуна на Зелёном мысе, Озёра Еловое, Трёхцветное, Кисло-Сладкое, Большие Хрусломены. Для измерения активности фотосистемы II использовали мобильный полевой прибор AquaPen AP110/C PSI. Нами были поставлены 2 типа измерений, которые предполагают предварительную темновую адаптацию фототрофных организмов. Поэтому пробы отбирались в затемнённые баночки объемом 150 мл. Каждое измерение проводили в 3-х повторностях, затем усредняли данные. Первый тип измерений: Ojip-кривые. На пробу подается вспышка актиничного света и сразу же за этой вспышкой подаётся вспышка насыщающего света. Измерение изменения активности ФС- II проводится чуть больше 1000 мс. По уровню флуоресценции строится кривая, показывающая механизм восстановления фотосинтетического аппарата. Данные измерения мы проводили в полевых условиях в течении часа от отбора проб. Второй тип измерений – световые кривые, снятые в режиме LC-1. После темновой адаптации подается вспышка актиничного света, а затем последовательные вспышки насыщающего света разной интенсивности (10-20-50-100-300-500 мкмоль) через каждые 60 сек. Данные измерения проводились в течение 4-5 часов после отбора проб в лаборатории.

Летом 2025 года в озерах Кисло-Сладкое, Еловое и Большие Хрусломены обнаружена депрессия фотосинтетической функции фитопланктона в верхних горизонтах, наибольшую активность проявляют организмы клады *Cryptophyta* в области хемоклина или над ним. В озере Трехцветное фитопланктон в пределах всего миксолимниона обладает схожими значениями квантового выхода (около 0,4), и фоновой флуоресценции. Возможно, это связано с хорошим перемешиванием всего миксолимниона (0 м – 1,8 м) и схожим таксономическим составом разных слоёв в его пределах. Фитопланктон Бухты Биофильтров характеризуется крайне низкими значениями квантового выхода, и низким уровнем F0. Это может свидетельствовать о небольшом количестве фотосинтетически активного фитопланктона. Промежуточное положение занимает Лагуна на Зелёном Мысе, т.к. квантовый выход фотосистемы II в поверхностном слое выше, чем в других исследованных водоемах, и имеется горизонт с криптофитовыми водорослями *Rhodomonas sp. (*по новым данным *Eomonas marina*) (Saburova et al, 2026), имеющими высокую фотосинтетическую активность. Эксперимент со световыми кривыми показал, что интенсивности 300 и 500 мкмоль фотонов/м^2*с являются избыточными

для всего фитопланктона исследуемых водоемов на момент измерений. У криптофитовых водорослей происходит линейное снижение светового квантового выхода Qy при увеличении интенсивности актиничного света. Вероятно, это объясняется акклимацией криптофитовых водорослей, взятых из условий слабой освещенности, к очень низким интенсивностям света, высокой концентрацией фикобилинов в их клетках, а также слабой развитостью фотозащитных механизмов у представителей данной клады. В 2026 году данные по оз. Трехцветное согласуются с 2025 годом. В оз. Еловое в 2026 году зона криптофитовых водорослей была шире и начиналась с 1,5 м. По этой причине зона повышенной фотосинтетической активности также увеличилась (1,75 м – 2,6 м). В Лагуне на Зеленом Мысе наблюдалось небольшое увеличение квантового выхода. В вертикальном профиле характер изменения квантового выхода согласуется с 2025 годом.

Половые различия у молоди трехиглой колюшки Белого моря: рост, пространственное распределение и морфология

Е.В. Надточий[1,2]*, В.С. Артамонова[3], М.В. Иванов[1], А.А. Махров[3], А.Ю. Рольский[4], Д.Л. Лайус[5]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;
[2]Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, Россия;
[3]Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия;
[4]Полярный филиал ФГБНУ "ВНИРО", Мурманск, Россия;
[5]Университет Тарту, Эстония.
*E-mail: katya_nadtochii@mail.ru

Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* L., 1758 – массовый вид прибрежных экосистем Белого моря и модельный объект экологических и эволюционных исследований. У взрослых рыб беломорской популяции наблюдается выраженный морфологический половой диморфизм; самки растут быстрее самцов и преобладают в популяции: по нашим многолетним данным, соотношение самок и самцов среди производителей составляет приблизительно 62:38. По этой причине представляется интересным выяснить, на каких этапах онтогенеза и под действием каких механизмов формируются эти различия. Цель работы – обобщить имеющиеся данные о размерной и морфологической изменчивости молоди трехиглой колюшки Белого моря, оценить соотношение полов, различия в скорости роста самцов и самок, размерно-зависимое пространственное распределение молоди, а также выраженность морфологического полового диморфизма на ювенильной стадии.

Материал собирали в 2014, 2015 и 2020 гг. в Кандалакшском и Онежском заливах Белого моря с конца июня до второй половины августа. Сеголеток ловили мальковым неводом 7.5 × 1.5 м с мельничным газом в кутке или сачком из мельничного газа диаметром 30 см. Кроме того, собирали гнезда для анализа молоди на самых ранних сталиях. Исследованы выборки молоди из семи районов, различающихся по положению относительно открытого моря и степени изолированности: сильно закрытой губы Кислой, относительно закрытой губы Колюшковой, прибрежья острова Кондостров, губы Сельдяной, открытого прибрежья острова Кругляш, морских станциях Декадная у выхода из губы Чупа и Фарватер в открытой части Кандалакшского залива. Всего было собрано и проанализировано 526 особей (203 – в 2014 г., 128 в 2015 г. и 195 в 2020 г.).

Пол молоди, у которой внешние половые признаки ещё не выражены, определяли генетическими методами по двум полоспецифичным локусам: Ga1, ампликоны которого различаются по длине в X- и Y-хромосомах, и Ga2, присутствующему только в Y-хромосоме. Стандартную длину в мм измеряли для всех рыб. Дополнительно для выборки 2020 г. определяли 38 морфометрических признаков, характеризующих размеры головы, высоту и пропорции тела, положение плавников; их нормировали относительно стандартной длины.

Размерно-зависимое пространственное распределение анализировали по выборкам, собранным 8 августа 2020 г. на четырёх станциях: у прибрежья острова Кругляш, в губе Сельдяной, на станциях Декадная и Фарватер. Использовали логистическую модель вероятности присутствия рыбы в морских выборках в зависимости от стандартной длины и пола, предполагая, что уловистость орудий лова не зависит от размера рыбы.

В общей совокупности обнаружено достоверное преобладание самок – 290 особей из 516 (точный биномиальный тест, $p = 0.010$). Однако выраженность этого преобладания различалась между годами. В 2014 г. зарегистрированы 123 самки и 80 самцов ($p < 0.01$). При этом достоверное преобладание самок наблюдалось в губе Колюшковой и у острова Кондостров, где доля самок составляла около 66%. В 2015 и 2020 гг. отклонение от соотношения 1:1 было недостоверным.

Размер молоди закономерно увеличивался в течение летнего периода. В конце июня, вскоре после вылупления, средняя длина составляла около 6.7 мм, к середине июля — около 12.0 мм, тогда как

в августовских выборках средние размеры достигали приблизительно 16–24 мм. Однако различия размеров между районами, годами и датами нельзя интерпретировать как различия в темпах роста, поскольку пространственные, временные и когортные эффекты в этих выборках не разделены.
В период отхода молоди от берегов, в начале августа, на морских станциях Декадная и Фарватер молодь была достоверно крупнее, чем в прибрежье. Расчётный размер начала морской миграции, соответствующий 10%-ной вероятности присутствия в морских выборках (L10), составил 17.26 мм у самок и 17.34 мм у самцов. Средняя точка перехода L50 составила соответственно 18.85 и 19.54 мм, а размер, соответствующий 90%-ной вероятности присутствия в морских выборках (L90), — 20.44 и 21.74 мм ($p>0.05$ во всех случаях). Обнаружение 20 августа 2014 г в сильно закрытой губе Кислой крупной молоди со средней длиной 23.87 мм и отдельных особей длиной до 27.5 мм, вероятно, связано с изолированностью губы, препятствующей уходу молоди в открытое море.
Проведено изучение скорости роста молоди в губе Колюшковой в 2015 г. Средняя длина пойманных в губе личинок 27 июня составляла 7.51 мм у самок и 7.60 мм у самцов, а 15 июля – 11.90 и 12.57 мм соответственно. За 18 суток наблюдаемое увеличение средней стандартной длины составило 0.244 мм/сутки у самок и 0.276 мм/сутки у самцов. В то же время, различие между полами было недостоверным (bootstrap analysis, $p=0.699$). Все рыбы в этих выборках были меньше предполагаемого размера начала отхода от берега, поэтому миграционное перераспределение вряд ли существенно повлияло на сравнение. Различия стандартной длины между самцами и самками молоди в большинстве выборок отсутствовали. Достоверное различие обнаружено только для выборки у острова Кругляш 8 августа 2020 г., где самцы были в среднем заметно крупнее самок – 18.33 и 16.32 мм соответственно (t-критерий Уэлча: $t = -3.99$; $p < 0.001$) при соотношении полов 1:1. Анализ пропорций тела молоди 2020 г. не выявил заметного и устойчивого морфологического полового диморфизма.
Морфологический анализ выполнен на 195 особях, собранных в 2020 г., длина которых варьировала от 12.1 до 27.2 мм. Анализ 38 морфометрических признаков, характеризующих форму и пропорции тела и ранее использованных нами для изучения взрослых рыб, не выявил заметных выраженных и устойчивых различий между самцами и самками у молоди.
Таким образом, мы не обнаружили достоверных отличий по скорости роста между самцами и самками у молоди. Молодь колюшки в Белом моря отходит от берега при длине 17–22 мм, но в сильно закрытых губах крупная молодь может задерживаться дольше. Уже в первое лето жизни в общей совокупности наблюдается достоверное преобладание самок, однако оно слабее, чем у взрослых беломорских колюшек, и существенно варьирует между годами и выборками. Это позволяет предположить, что преобладание самок усиливается после первого лета жизни. Размерно-половая структура молоди в выборке с острова Кругляш указывает на локальное преимущество самцов по размеру, которое может быть связано как с особенностями роста, так и с миграционным поведением. Морфологический половой диморфизм, характерный для взрослых рыб, у исследованной молоди не выявлен; что говорит о его формировании уже после достижения длины тела около 20 мм.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ №25-24-00842.

Формирование спикул голожаберных моллюсков: от транскриптомного анализа к идентификации генов биоминерализации

Е.Д. Никитенко*, А.С. Королева, М.М. Домрачева, Е.В. Ворцепнева
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия.
*E-mail: nikitenkoed@my.msu.ru

Спикулы голожаберных моллюсков дорид (Nudibranchia, Gastropoda) представляют собой пример скелетных элементов с внутриклеточной минерализацией, уникальный среди многоклеточных животных. В отличие от большинства известных скелетных элементов беспозвоночных на основе карбоната кальция, формирующихся внеклеточно, спикулы дорид на всех стадиях своего формирования и роста находятся внутри вакуолей специализированных клеток – склероцитов. При этом механизм формирования и минерализации таких спикул до сих пор не установлен.

Целью работы стало выявление генов биоминерализации, ассоциированных со спикулогенезом *Onchidoris muricata* (O. F. Müller, 1776). Для этого был проведен комплексный транскриптомный анализ дифференциальной экспрессии генов-кандидатов между тремя размерными группами особей, соответствующими разным стадиям спикулогенеза, а для части кандидатов карбоангидраз паттерны экспрессии были дополнительно верифицированы методом whole-mount *in situ* гибридизации (WMISH).

Сбор *O. muricata* (более 200 особей, от 100 мкм до 12 мм) проводили в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ им. Н.А. Перцова. В работе использовали транскриптомные данные, полученные для *O. muricata* на разных стадиях спикулогенеза – (1) формирования, (2) роста и минерализации и (3) терминальной стадии.

На основе литературных данных был сформирован список генов, потенциально вовлеченных в процессы биоминерализации и регуляцию скелетогенеза: карбоангидразы (CA), хитинсинтаза (chitin synthase), ферритин (ferritin), накреин (nacrein), транскрипционные факторы grainyhead, zic, hox1, goosecoid, а также компоненты сигнального пути Notch/Delta. Для каждого гена-кандидата анализировали профиль дифференциальной экспрессии между стадиями минерализации спикул *O. muricata*.

Биоинформатический анализ был выполнен в среде R (v. 4.6.1) с использованием пакета DESeq2. Полный воспроизводимый код опубликован в репозитории GitHub (https://github.com/avedomra/KA_Onchidoris). Качество образцов оценивали методом главных компонент (PCA) и иерархической кластеризацией попарных евклидовых расстояний, рассчитанных по VST-трансформированным значениям экспрессии 1000 наиболее вариабельных генов. Нормализацию проводили методом медианы отношений (median-of-ratios), дисперсии оценивали с помощью эмпирического байесовского сжатия. Значимость различий рассчитывали с помощью критерия Вальда (Wald test) для трех попарных сравнений между стадиями спикулогенеза. Скорректированные p-values получали методом Бенджамини–Хохберга, статистическую значимость присваивали при $padj \leq 0.05$. Оценку величины эффекта (log2FoldChange) выполняли с использованием байесовского сжатия методом ashr (lfcShrink). Итоговый список дифференциально экспрессированных генов (ДЭГ) формировали как объединение значимых генов хотя бы в одном из трех сравнений. Кластеризацию профилей ДЭГ проводили методом Уорда на основании евклидова расстояния по центрированным батч-скорректированным VST-значениям, с разделением дендрограммы на 8 кластеров. Для верификации биоинформатических предсказаний по карбоангидразам дополнительно проводили WMISH с дигоксигенин-меченными зондами.

Анализ дифференциальной экспрессии выявил гетерогенность экспрессионных профилей генов-кандидатов между стадиями минерализации спикул. Иерархическая кластеризация образцов по профилям экспрессии этих генов корректно сгруппировала реплики по стадиям,

подтверждая стадийную специфичность экспрессии. Отдельные гены демонстрировали статистически значимые изменения экспрессии между стадиями спикулогенеза.

Результаты WMISH на примере карбоангидразы позволили выявить динамичный пространственный паттерн экспрессии у *O. muricata*. Впервые было выявлено вероятное «спикулогенное поле» у ювенилей в переходной зоне между ногой и нотумом. Экспрессия сигнала наблюдалась в данной области на стадиях формирования и начала минерализации спикул. Транзиторная экспрессия в переходной зоне ноги и нотума примечательна, поскольку позволяет предположить гомологию процессов формирования спикул голожаберных моллюсков дорид и формирования раковины других брюхоногих моллюсков. На стадии минерализации спикул сигнал также детектируется в цитоплазме и перинуклеарном пространстве склероцитов вдоль растущих спикул. После завершения минерализации спикул у взрослых особей экспрессии генов не наблюдается, что также подтверждается отсутствием хромогенной реакции. Прекращение экспрессии у взрослых особей позволяет предположить, что активность генов необходима именно на стадиях активного роста и минерализации спикул, а не для поддержания гомеостаза уже сформированных структур.

Таким образом, комплексный подход, сочетающий статистический анализ транскриптомных данных и пространственную визуализацию экспрессии, позволил идентифицировать гены-кандидаты биоминерализации, ассоциированные со спикулогенезом *O. muricata*. Полученные данные расширяют представления о молекулярных механизмах внутриклеточной биоминерализации и закладывают основу для дальнейшего изучения эволюции программ минерализации у моллюсков, в том числе с помощью функциональной проверки роли выявленных генов-кандидатов методами ингибирования.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 26-74-00001.

Между волной и хозяином: Влияние прибойности на успех трансмиссии трематод в условиях субарктической литорали

К.Е. Николаев[1]*, К.В. Галактионов[1,2]

[1]Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: kirill.nicolaev@gmail.com

Гидродинамический режим водоема служит одним из важнейших факторов, определяющих успех трансмиссии паразитов в водных экосистемах. Не являются исключением и трематоды (Trematoda, Digenea), в жизненном цикле большинства которых имеются свободноживущие расселительные стадии. В ряде исследований показано влияние гидродинамического режима на зараженность, как первых, так и вторых промежуточных хозяев партенитами и метацеркариями трематод соответственно. Однако, почти во всех исследованиях сравниваемые участки с различным гидродинамическим режимом значительно удалены друг от друга (иногда на десятки километров). Вследствие этого, помимо гидродинамического режима, они могут сильно отличаться по ряду параметров, например, по численности окончательных хозяев, служащих источником инвазии, по плотности, как первых, так и вторых промежуточных хозяев, что, несомненно, влияет на показатели зараженности как партенитами, так и метацеркариями трематод.

В настоящем исследовании нами была проведена оценка влияния гидродинамической активности (прибойности), на зараженность первых и вторых промежуточных хозяев партенитами и метацеркариями трематод в пределах небольшого участка литорали острова в Белом море, разделенного каменистой грядой на прибойную и затишную части. Оба эти участка примерно с одинаковой интенсивностью посещаются чайками – дефинитивными хозяевами исследуемых видов трематод. Это нивелирует дифференциальное действие одного из ключевых факторов, определяющих распределение инвазии трематодами промежуточных хозяев – численность дефинитивных хозяев, рассеивающих инвазионное начало.

Объектами исследования послужили представители семейств Himasthlidae – *Himasthla* spp. и Renicolidae – *Renicola* spp., которые существенно различаются по морфологии и биологии всех стадий жизненного цикла, но используют одни и те же виды животных-хозяев. Первым промежуточным хозяином являются моллюски рода *Littorina* (в нашем исследовании это широко распространенные на литорали Белого моря виды *Littorina saxatilis, L. obtusata*). Роль второго промежуточного хозяина играют мидии (*Mytilus edulis*), а окончательного – морские птицы, преимущественно чайки.

Отбор количественных проб моллюсков *Littorina saxatilis* и *L. obtusata* был проведен в конце августа 2025 года, на прибойном и затишном участках литорали. Собранных литорин вскрывали под стереомикроскопом МБС-10 При вскрытии моллюсков определяли вид паразита и стадию зрелости группировок партенит химастлид и рениколид. Отбор проб мидий был проведен одновременно со сбором литторин на тех же участках литорали. Моллюсков вскрывали, их мягкие ткани продавливали между двумя стеклами и просматривали под бинокуляром. Подсчитывали число метацеркарий *Himasthla* spp. и *Renicola* spp.

Для верификации полученных в ходе полевых наблюдений данных по зараженности мидий метацеркариями *Himasthla* spp. and *Renicola* spp. в тех же зонах, где были отобраны пробы литторин и мидий нами в каждой из зон было установлено по два садка с незараженными мидиями Период экспозиции садков составил 116 дней с начала июня до конца сентября, после чего моллюски были вскрыты по вышеописанной методике.

Экстенсивность инвазии (ЭИ) моллюсков *L. saxatilis* и *L. obtusata* партенитами *Himasthla* spp и *Renicola* spp. не превышала 2%, и достоверно не различалась в прибойной и затишной зонах литорали ($p < 0.05$). ЭИ мидий метацеркариями *Himasthla* spp, в период исследования достигала высоких значений (70-80%) и была достоверно выше в затишной зоне, чем в прибойной Те же

отличия были отмечены для индекса обилия (ИО) метацеркарий этого вида. Однако ЭИ мидий метацеркариями *Renicola* spp. достоверно не различалась в прибойной и затишной зонах. Также не было отмечено достоверных различий по ИО метацеркарий этого вида. В результате проведенного нами полевого эксперимента было показано, что ЭИ мидий метацеркариями *Himasthla* spp. и *Renicola* spp. достоверно ниже у моллюсков из садков, помещенных в прибойной зоне. Также было отмечено достоверное снижение ИО метацеркарий в моллюсках, экспонированных в прибойной зоне, как для *Himasthla* spp., так и для *Renicola* spp.

Отсутствие достоверных различий в зараженности *L. saxatilis* и *L. obtusata* партенитами *Himasthla* spp., и *Renicola* spp. на затишном и прибойном участках, по всей видимости, обусловлено крайне низкой зараженностью моллюсков. При столь низких значениях этого показателя на передний план выходит случайный компонент, и каких-либо закономерностей обнаружить не удается.

По нашему мнению, впервые показано влияние различного гидродинамического режима (затишного и прибойного) на зараженность вторых промежуточных хозяев трематодами в пределах одной литорали (микромасштаб). Ранее было неоднократно показано, что зараженность моллюсков партенитами трематод на затишных участках побережья всегда выше, чем на прибойных, соответственно, различается и зараженность вторых промежуточных хозяев. В нашем же случае, зараженность *L. saxatilis* и *L. obtusata* партенитами *Himasthla* spp. и *Renicola* spp. достоверно не различается в прибойной и затишной зонах, соответственно плотность гемипопуляции выделяющихся из моллюсков церкарий также сходна. Важно отметить, что в нашем случае плотность поселения мидий на затишном и прибойном участке одинакова (≈1600 особей/м^2), что исключает влияние этого фактора на зараженность моллюсков.

Различия в распределении зараженности метацеркариями *Himasthla* spp. и *Renicola* spp. в прибойной и затишной зонах вероятнее всего обусловлены особенностями поведения личинок. Церкарии *Himasthla* spp. на протяжении всей жизни сохраняют придонную локализацию и, по всей вероятности, могут быть легко элиминированы из зоны контакта со вторым промежуточным хозяином, за счет смыва при волновом воздействии. В свою очередь, личинки *Renicola* spp. после выхода из моллюска-хозяина поднимаются в верхние слои воды, а затем, через несколько часов, концентрируются у дна. Можно предположить, что за счет этого церкарии достаточно равномерно распределяются по всей литорали островка, как прибойного, так и затишного ее участков. Это и определило практически одинаковый уровень зараженности мидий метацеркариями этого вида трематод, зарегистрированный нами в полевом исследовании. Однако данные, полученные в ходе полевого эксперимента, свидетельствуют о достоверном снижении зараженности мидий метацеркариями на прибойном участке, хотя и не столь выраженном как в случае личинок *Himasthla* spp. Возможно лишь предположить, что за счет более высокой патогенности *Renicola* spp. для молодых мидий возрастом 1+ - 2+ более высокая зараженность на затишном участке литорали приводит к селективной гибели молодых моллюсков. Таким образом, поведенческие особенности церкарий *Renicola* spp., на наш взгляд, могут представлять собой адаптацию, направленную как на нивелирование эффекта мозаичного распределения особей второго промежуточного хозяина, отмеченного для большинства литоральных поселений мидий, так и на увеличение успеха трансмиссии в местообитаниях с высокой прибойностью.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-14-00329-п. Работа на Биологической станции ЗИН РАН частично финансирована за счет тем государственного задания № 125012800903-5 и № 125012800889-2.

Новые данные о спикулогенезе *Gersemia fruticosa* (Sars, 1860)

Б.В. Осадченко*, И.А. Косевич, Е.В. Ворцепнева

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

*E-mail: golovahobot@gmail.com

Процесс образования минерального скелета изучен у восьмилучевых кораллов (Octocorallia) крайне неполно в сравнении с шестилучевыми кораллами (Hexacorallia, Scleractinia). Более того, далеко не все группы Octocorallia изучены в этом аспекте основательно и с применением современных методов морфологии. Например, представителям Alcyoniidae не уделялось должного внимания уже более столетия.

Нами были получены первые данные о спикулогенезе массового беломорского коралла *Gersemia fruticosa* (Sars, 1860) с применением конфокальной лазерной сканирующей микроскопии. Было показано, что образование спикулы начинается внутриклеточно в единичных не образующих скоплений склероцитах, обладающих амебоидной подвижностью. Нами не наблюдалось исторжения спикулы из склероцита при переходе ко внеклеточной фазе спикулогенеза, как это описано для представителей некоторых других таксонов Octocorallia. Наоборот, предполагаемая следующая стадия представляет собой несколько увеличившуюся спикулу, окруженную уже двумя склероцитами, что позволяет предположить плавный переход между этими стадиями. С увеличением размера синтезируемой спикулы увеличивается и количество клеток, ассоциированных с ней. Мы не можем с уверенностью говорить о происхождении этих клеток, однако эксперименты с использованием 5-этинил-2′-дезоксиуридина (EdU) указывают на возможную пролиферацию склероцитов, связанных с растущей спикулой, но для подтверждения или отвержения этой гипотезы требуются дополнительные исследования. Зрелые спикулы не окружены слоем склероцитов, а лишь отдельные амебоциты наблюдаются связанными с ними.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 26-14-00014.

Строение женской половой системы и оогенез трёх видов морских пауков (Pycnogonida): размер имеет значение?

М.А. Петрова[1]*, Е.В. Богомолова[2]

[1]Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова, Москва, Россия;

[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия.

.*E-mail: petrovama@my.msu.ru

Морские пауки (Pycnogonida) – древняя, первичноводная группа членистоногих. Пикногониды являются сестринской группой всех остальных хелицеровых (Xiphosura + Arachnida). Несмотря на длительную независимую эволюцию, морские пауки сохранили плезиоморфные для членистоногих черты: наружное оплодотворение, олигомерную вылупляющуюся личинку с длительным анаморфным этапом развития. Переплетение апоморфных и плезиоморфных признаков и базальное положение в древе Arthropoda делает данные о строении и биологии пикногонид необходимыми для сравнительного анализа и формирования представлений об эволюции членистоногих. Тем не менее, на данный момент такие знания очень скудны и ограничиваются единичными работами по отдельным аспектам анатомии и биологии, что делает сравнительный анализ невозможным. Особенно малоизучена репродуктивная биология пикногонид, включая строение половой системы и оогенез. По данным о постэмбриональном развитии выделяют три основных репродуктивных стратегии, различающихся размером яиц и связанных с образом жизни личинок: 1) «базовая» (предположительно, исходная для группы) – яйца среднего размера, 120 – 200 мкм, вылупляется типичный протонимфон, личинки свободноживущие, экзотрофные; 2) «миниатюризация» – яйца очень мелкие, 40 – 100 мкм, вылупляется протонимфон, личинки эндопаразитические; «лецитотрофия» – яйца крупные, 250 – 500 мкм, развитие в разной степени эмбрионизировано, вылупляются личинки в большим, чем у протонимфона числом сегментов. Однако, не известно связаны ли изменения репродуктивной стратегии и размера яиц с изменениями в строении половой системы и оогенезе.

В данной работе изучены репродуктивные системы и оогенез трёх близких видов морских пауков надсемейства Nymphonoidea с разным размером яиц и различной степенью эмбрионизации развития: 1) *Nymphon brevirostre*, Hodge 1863 (Nymphonidae) яйца 120 мкм, типичный протонимфон; 2) *N. grossipes* (Fabricius, 1780) (Nymphonidae) яйца 400 мкм, лецитотрофный протонимфон с одним дополнительным сегментом; 3) *Pseudopallene spinipes* (Fabricius, 1780) (Callipallenidae) яйца 300 мкм, вылупляются личинки на продвинутой стадии с начавшими формироваться двумя парами ходильных ног. Цель исследования: выявить возможные различия в строении женской репродуктивной системы и ультраструктурных особенностях оогенеза, предположительно связанные с различными репродуктивными стратегиями.

Животных для работы собирали с сублиторали в окрестностях Беломорской Биологической станции МГУ во время легководолазных погружений или в отлив в верхней части сублиторали. Строение половой системы и оогенез изучали с помощью стандартных методов: на полутонких срезах, посредством просвечивающей электронной микроскопии, сканирующей электронной микроскопии и конфокальной лазерной микроскопии.

Женская половая система всех изученных видов устроена одинаково и включает в себя яичник, яйцеводы и гонопоры, и железы гонопора. Яичник устроен типичным для морских пауков образом: от U-образной туловищной части отходят дивертикулы до конца четвёртого сегмента каждой пары ходильных ног. Яичник подразделён на три функциональных зоны: 1) гермарий в туловищной части, 2) транспортная зона в дистальной части (до середины второго сегмента) ног, 3) вителлярий в дистальной (с середины второго сегмента ног) части педального дивертикула. В гермарии располагаются ооциты на ранних стадиях оогенеза,

ранние превителлогенные ооциты покидают гермарий, проходят через транспортную зону и попадают в вителлярий, где выпячиваются в гемоцель через вентральную стенку яичника и остаются на протяжении всего оогенеза. Зрелые ооциты вновь попадают в полость яичника, по которой попадают к яйцеводу, соединяющему яичник с гонопором в дистальной части второго сегмента каждой ходильной ноги.

Начальные этапы оогенеза проходят у всех изученных видов одинаково, несколько отличаются лишь размеры ооцитов – они крупнее у видов с большими яйцами. У *Pseudopallene*, в отличие от *Nymphon* были обнаружены митотические деления оогониев. Вероятно, это связано с тем, что *Pseudopallene* размножаются в течение всего года, а у *Nymphon* репродуктивный сезон ограничен небольшим промежутком времени.

Во время вителлогенеза ооциты всех изученных видов выпячиваются в гемоцель и остаются соединены со стенкой яичника только стебельком из нескольких соматических клеток. Клетки стебелька формируют отростки, которые контактируют с оолеммой. Оолемма на месте контакта с отростками клеток стебелька формирует окаймлённые ямки и пузырьки, ооцит, вероятно, поглощает фрагменты стебелька. У *N. grossipes* – вида с самыми крупными яйцами стебелёк состоит из максимального числа клеток. Ультраструктурные признаки взаимодействия ооцита со стебельком и увеличение размеров стебелька вместе с увеличением размера яйца говорит о его участии в питании ооцита.

Ультраструктура вителлогенных ооцитов всех изученных видов в общих чертах сходна: очень хорошо развитый синтетический аппарат, большое количество рибосом, цистерн шЭПР, диктиосом и митохондрий. Всё это говорит об участии самого ооцита в синтезе компонентов желтка – автосинтезе. Однако, поглощение ооцитом фрагментов стебелька говорит о том, что часть компонентов желтка может поступать в ооцит извне, т.е. часть желтка является гетеросинтетической. Ещё один признак наличия гетеросинтетического желтка в ооцитах изученных видов – образование вителлогенными ооцитами окаймлённых ямок и пузырьков по всей поверхности оолеммы у *N. grossipes* и *Pseudopallene* – видов с крупными яйцами. Более того, у *Pseudopallene* желтковые гранулы начинают образовываться под поверхностью ооцита, а не вокруг ядра – также признак гетеросинтеза желтка. Таким образом, доля гетеросинтетического желтка растёт у видов с более крупными яйцами.

Ещё одно различие вителлогенеза у видов с разными репродуктивными стратегиями касается телец Бальбиани. Эти структуры были описаны для ооцитов пикногонид лишь недавно и представлены у них в самом простом варианте: в форме скоплений электронно-плотной цитоплазмы, окружённой митохондриями. Эти структуры хорошо окрашиваются йодидом пропидия, что говорит о содержании в них РНК. У изученных нами видов тельца Бальбиани различаются по размеру и яркости окрашивания йодидом пропидия. У *N. brevirostre*, вида с самыми мелкими яйцами, тельца Бальбиани самые маленькие, их яркость по отношению к окружающей ооплазме самая небольшая. У *Pseudopallene* тельца Бальбиани наиболее контрастны, крупнее чем у *Nymphon* и дольше сохраняются в вителлогенезе. То есть, размер и плотность телец Бальбиани увеличивается у видов с более крупными яйцами и эмбрионизированным развитием.

По итогам проведённой работы можно предварительно заключить, что у Pycnogonida изменение репродуктивной стратегии не отражается на строении женской половой системы. При этом, с увеличением размера ооцита растёт доля гетеросинтетического желтка. Кроме того, интересно, что при увеличении степени эмбрионизации развития увеличиваются тельца Бальбиани, что может говорить об их прямом или косвенном участии в накоплении желтка.

Катехоламины в нервной системе беломорских немертин

С.А. Петров[1]*, О.В. Зайцева[1,2]

[1]Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

[2]Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: Sergey.Petrov@zin.ru

Немертины — тип преимущественно морских хищных несегментированных червеобразных беспозвоночных. Практически все они обладают хоботным аппаратом, не характерным для других Lophotrochozoa. Традиционно хоботных немертин разделяют на Palaeonemertea, Pilidiophora и Hoplonemertea. Хобот последних обладает вооружением: известковыми стилетами (за исключением представителей Bdellonemertea - эндокомменсальных видов немертин). С помощью стилетов хоплонемертины, выворачивая хобот, протыкают покровы добычи и вводят в нее парализующие нейротоксины (Bürger, 1909; Stiasny-Wijnhoff, 1923; Gibson, 1972; Stricker, 1985; Göransson et al., 2019). У немертин из групп Palaeonemertea и Pilidiophora в эпителии хобота содержатся железистые клетки с токсинами (например, с тетродотоксином), которые при контакте вывернутого хобота с жертвой способствуют ее обездвиживанию (Göransson et al., 2019; Malykin et al., 2024; Vlasenko et al., 2024). Несмотря на многолетнее изучение морфологии, филогении и жизнедеятельности немертин, клеточная архитектоника их нервной и особенно сенсорных систем, изучена мало. Имеющиеся в литературе сведения по организации нервной системы немертин в основном получены гистологическими и электронно-микроскопическими методами и касаются общей морфологии, гистологии и локализации основных отделов нервной системы и отдельных органов чувств (Чернышев, 2011; Beckers et al., 2011, 2013, 2014, 2018; Beckers and von Döhren, 2015). Иммуногистохимические и гистохимические исследование нервной системы проведены только на нескольких видах немертин и преимущественно на срезах, что не позволяло получить полного представления о клеточной архитектонике нервной системы в целом (Beckers and von Döhren, 2015; Markosova et al., 2007; Zaitseva and Markosova 2008, 2009). Изучению распределения катехоламинов (КА) в нервной системе немертин посвящены единичные работы, но поскольку они выполнены на тотальных препаратах, это позволило оценить многообразие КА-ергических нейронов и рецепторных клеток, особенности их распределения и иннервации ими стенки тела и внутренних органов в целом (Zaitseva and Petrov, 2013; Zaitseva et al., 2019, 2020).

Исследования были проведены на беломорских видах немертин, собранных на литорали в районе ББС «Картеш» ЗИН РАН. Изучены представители Hoplonemertea (*Tetrastemma cf. candidum, Amphiporus lactifloreus),* Pilidiophora (*Lineus ruber),* Palaeonemertea (*Cephalothrix linearis*). КА выявляли на целых фиксированных животных с помощью гистохимического метода вызванной флуоресценции с глиоксиловой кислотой (GIF-метод). В результате описаны морфология и распределение многочисленных первичночувствующих рецепторных клеток в стенке тела, хоботе и пищеварительном тракте, а также иннервация мускулатуры стенки тела и хобота. Выявлены униполярные нейроны в церебральных ганглиях и боковых нервных стволах. Наиболее многочисленны КА-содержащие рецепторные клетки, диффузно расположенные в головной лопасти, стенке всего тела, хобота и пищеварительного тракта, что позволяет предположить механосенсорную функцию этих клеток. Отдельные КА-содержащие клетки выявлены в церебральных и фронтальных сенсорных органах. В целом распределение КА у всех исследованных видов немертин сходно. Различия наблюдаются в количестве и локализации КА-содержащих нейронов в церебральных ганглиях и в иннервации хоботного аппарата. Кроме того, ряд отличий связан с наличием у пилидиофор и палеонемертин обособленного ротового отверстия на вентральной стороне тела за церебральными ганглиями, а также с появлением у пилидиофор дополнительных сенсорных

органов: латеральных щелей, расположенных по бокам головной лопасти перед церебральными органами. У хоплонемертин нет обособленного рта, а имеется одно общее отверстие (ринхостом) на переднем конце тела, через которое поступает пища и через которое выбрасывается хобот. Все это приводит к тому, что у пилидиофор и палеонемертин появляются по сравнению с хоплонемертинами дополнительные зоны концентрации КА-содержащих первичночувствующих рецепторных клеток вокруг рта и в латеральных щелях. Таким образом, полученные данные позволяют предположить, что КА у немертин участвуют в осуществлении механосенсорных функций, регулировании пищеварительного процесса, в интегративной, локомоторной и иных двигательных функциях, в том числе связанных с работой хоботного аппарата.

В работе использовано оборудование ЦКП «Таксон» ЗИН РАН (http://www.ckp-rf.ru/ckp/3038/). Работа выполнена в рамках бюджетной темы Зоологического института РАН (проект 125012800894-6).

Целомический эпителий морской звезды *Asterias rubens* и клетки, его населяющие

О.А. Петухова[1]*, С.В. Шабельников[1], О.А. Быстрова[1], М.Г. Мартынова[1], А.Б. Шатров[2], К.А. Бенкен[2], Н.С. Шарлаимова[1]

[1]Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия;
[2]Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: petukhova@yandex.ru

Морская звезда *Asterias rubens* – представитель иглокожих, которые входят в группу Ambulacraria вместе с полухордовыми и являются сестринской группой хордовым. Иглокожие – тип морских животных, характеризующихся пентамерной симметрией взрослых организмов и наличием амбулакральной (водно-сосудистой) системы. Многие представители этой группы животных характеризуются повышенной способностью к регенерации, для них нехарактерно образование опухолей, они являются источниками веществ, используемых в медицинской практике. Иглокожие являются целомическими животными и изучение свойств целомического эпителия (ЦЭ) может быть полезно для понимания функционирования мезотелия (ЦЭ) человека, так как многие патологические процессы связаны с нарушениями его функций. Все эти черты выводят иглокожих и, в частности, морских звезд, на новый уровень в качестве модельных объектов.

По сравнению с другими иглокожими *A. rubens* очень медленно восстанавливают утраченные части тела и органы. Характерной особенностью звезды является быстрое увеличение (в 3–5 раз) концентрации целомоцитов (ЦЦ), клеток целомической полости, выполняющих различные функции. Восполнение популяции ЦЦ, относящееся к физиологической регенерации, является предметом нашего исследования.

Наиболее вероятным источником ЦЦ считается ЦЭ звезды, который устилает всю поверхность обширной целомической полости. Восполнение популяции ЦЦ не сопровождается делением клеток. Предполагается, что ЦЦ могут возникать в результате трансдифференцировки жгутиковых клеток ЦЭ (эпителиоцитов), образующих апикальную поверхность эпителиального слоя, дедифференцировки/пролиферации/дифференцировки жгутиковых клеток, активности стволовых клеток ЦЭ или других органов звезды, либо за счет резервных клеток, то есть, периодического образования компетентных клеток.

Собственные данные выдвигают на роль предшественников ЦЦ малые клетки ЦЭ и клетки маргинального пула ЦЦ. В ЦЭ идентифицировано два типа малых клеток, среди которых встречаются пролиферирующие. Один из них, малые эпителиоциты-1 (МЭЦ-1) встречается также в целомической жидкости (ЦЖ). Субпопуляция слабо прикрепленных клеток целомической жидкости (ЦЭ-С), обогащенная МЭЦ-1, может быть получена без ферментативной обработки, в процессе выделения ЦЭ. Маргинальные целомоциты были идентифицированы как клетки, вымываемые из целома после того, как ЦЖ была максимально полностью удалена. У интактных животных количество клеток в этой субпопуляции может быть равно или превышать общее количество циркулирующих клеток.

ЦЭ не является типичным эпителием, в отличие от других эпителиев он имеет мезодермальное происхождение. У млекопитающих он выстилает вторичные полости тела (листки брюшины и плевры, эпикард и перикард, эпителии органов половой системы). В отличие от типичного эпителия в мезотелии более слабая связь между клетками. Предполагается, что участки нарушенного эпителия служат для проникновения клеток из соединительной ткани в полость тела и наоборот.

В наших исследованиях по морфологическим признакам после гистологического и иммунофлуоресцентного окрашивания суспензий клеток было выявлено 8 типов клеток ЦЭ и 8 типов клеток ЦЖ, среди них клетки, которые встречаются в обеих популяциях и клетки, уникальные для ЦЭ или целомоцитов. Общими для двух популяций оказались крупные

агранулоциты, эозинофильные гранулоциты и малые клетки с высоким ядерно-цитоплазматическим отношением и дискретно окрашенным ядром (МЭЦ-1). Редкие пролиферирующие клетки выявлены в ЦЭ и других органах звезды.

Ультраструктурный (трансмиссионная электронная микроскопия, ТЕМ) анализ ЦЭ был проведен на нескольких фрагментах, выделенных из разных областей аборальной стенки луча. Характерной особенностью эпителиального слоя является его неоднородная структура, включающая участки различной толщины. Выявлены участки эпителия, в которых клетки прикреплялись к базальной пластинке короткими отростками, тогда как в других участках эпителия клетки прикреплялись к базальной пластинке длинными отростками. Наиболее апикальное положение в эпителиальном слое занимают жгутиковые клетки, имеющие призматическую или кубической форму. Клетки соединены плотными контактами, а также наблюдаются открытые щели между клетками. В слой жгутиковых клеток встроены секреторные гранулярные и слизистые клетки. В области длинных отростков в эпителии выявляются миоэпителиальные клетки, мелкие клетки с высоким ядерно-цитоплазматическим отношением, а также крупные агранулоциты, гранулоциты и отростки нервных клеток. Обнаружены клетки, протискивающиеся между эпителиоцитами в целом. Выход клеток из ЦЭ подтвержден также в экспериментах с условно-интактным ЦЭ.

Сканирующая электронная микроскопия показала, что эпителий брызжейки является плоским. Апикальная целомическая поверхность луча представлена жгутиковыми клетками, на которой выявляются МЭЦ-1 и зрелые ЦЦ во всех областях, кроме области нерва, обнаружены также стоматы (устьица или «дырки»). Области без стомат соседствуют с областями перфорированными. Стоматы бывают круглые и неровные, чаще на несколько клеток. Существование стомат подтверждается ТЕМ. В структуре ЦЭ оральной стороны также обнаружены стоматы и клетки на поверхности ЦЭ, обращает на себя внимание извилистая граница эпителиальных клеток.

На фоне индивидуальной вариабельности достоверно через 5 часов после травмирования на поверхности ЦЭ выявлен органический «мусор». Количество стомат у контрольных и травмированных звезд превышает количество клеток на поверхности. Обнаружены клетки, мелкие и крупные, протискивающиеся между эпителиоцитами и через стоматы. На всех образцах выявлены эпителиоциты с модифицированной поверхностью.

Сравнение динамики клеточного состава в популяциях, циркулирующих и маргинальных целомоцитов при разных способах травмирования, показало существенные индивидуальные вариации. Однако, всегда после значительной потери ЦЖ и в случае колотой раны субпопуляция ЦЭ-С обогащена МЭЦ-1(40 % и более) на всех сроках после травмирования.

Отработан метод фракционирования клеток ЦЖ и ЦЭ в градиентах плотности Перколла и выделены фракции клеток, обогащенные несколькими типами клеток: 1 – округлые клетки ЦЖ, не способные к образованию сетей; 2 – крупные агранулоциты, образующие сети целомоцитов; 3 – МЭК-2; 4 – жгутиковые клетки; МЭК-1)

Протеомный анализ фракций клеток, обогащенных определенными клеточными типами позволил выявить белки-кандидаты на роль маркеров среди интегральных мембранных белков, белков цитоскелета и белков, ассоциированных с мембранами.

В работе представлены доказательства в пользу происхождения нескольких типов клеток из ЦЭ, а также получены молекулярные данные, которые позволят развить нашу гипотезу об источниках целомоцитов у *A. rubens*.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации фундаментальных исследований ИНЦ РАН, № ФМФУ-2026-0012, а также Фонда директора Института цитологии Российской академии наук.

Liopsetta putnami (Gill, 1864) – криптический вид Белого моря?

Е.В. Пономарева*, М.В. Пономарева, А.Н. Строганов
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия.
*E-mail: kponom@mail.ru

Формирование современной ихтиофауны Белого моря неразрывно связано с его историей. В Белом море постоянно обитают и нерестятся во всех заливах моря три вида камбал (отряд Pleruonectiformes): полярная (*Liopsetta glacialis* (Pallas, 1776)), речная (*Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758)), ершоватка (*Limanda limanda* (Linnaeus, 1758)). Эти рыбы являются типичными придонными обитателями, совершающими небольшие миграции.

Для изучения ихтиофауны наряду с классическими морфобиологическими методами широкое применение получили методы генетических исследований, тем более что традиционные морфобиологические подходы в ряде случаев не позволяют достоверно идентифицировать представителей отдельных видов рыб (например, видовая принадлежность беломорской сельди к тихоокеанской сельди *Clupea pallasii* Valenciennes, 1847 подтвердилась в результате применения генетических методов исследования).

С развитием молекулярно-генетических методов появилась возможность определить видовую принадлежность и дистанции между разными систематическими группами и оценить возможные пути их эволюции с помощью коротких фрагментов мтДНК; современная картина распределения гаплотипов мтДНК содержит информацию, позволяющую реконструировать возможные пути послеледникового расселения. Целью настоящей работы стали изучение и оценка генетического разнообразия обитающей в Белом море полярной камбалы *L. glacialis*.

Были исследованы 56 особей полярной камбалы, выловленных в Кандалакшском заливе Белого моря в районе ББС МГУ с 2019 г. по 2025 г. У всех особей был просеквенирован участок гена *CO1*, применяемый для видовой идентификации. Для 28 особей был проведен морфометрический анализ.

В базах данных нуклеотидных последовательностей (GenBank, BOLD), для рода *Liopsetta* найдено 24 записи последовательностей гена *CO1*. По современным представлениям, род *Liopsetta* Gill, 1864 составляют виды *L. glacialis* (Pallas, 1776), *L. putnami* (Gill, 1864), *L. pinnifasciata* (Kner, 1870). Каждый из трех видов занимает «свое» географическое пространство: *L. glacialis* – Арктику, северо-восточную Атлантику и северную Пацифику, *L. putnami* – северо-западную Атлантику, *L. pinnifasciata* – северо-западную Пацифику, что отражено в англоязычных названиях этих видов камбалы, включающих прилагательные «арктическая», «американская», «дальневосточная». После выравнивания было выявлено четыре гаплотипа (два из которых уникальны и ранее не отмечены для других районов ареала), один из которых совпадал с последовательностью из GenBank (NCBI), определяемой как гаплотип *L. pinnifasciata* (дальневосточный), другой на одну замену отличался от гаплотипа из GenBank (NCBI), характерного для *L. putnami* (американский). Два других гаплотипа совпадали с последовательностями, характерными для *L. glacialis*. После построения дерева гаплотипов с включением последовательностей из баз данных *L. pinnifasciata* и *L. glacialis* образовали один кластер, сестринский по отношению к гаплотипам *L. putnami*, куда попал и гаплотип, полученный от рыб из Белого моря. Стоит отметить, что гаплотип камбал Белого моря, кластеризующийся с *L. putnami*, встречается с наибольшей частотой (почти 50%) по сравнению с другими тремя, и при этом рыбы с «американским» гаплотипом *L. putnami* обладают морфологическими признаками, типичными для полярной камбалы Белого моря. Одна мутация на 650 п.н. (около 0,15%) подтверждает, что обмен генами между этими регионами прекратился относительно недавно, что, вероятно, соответствует началу последнего оледенения, когда ледник «разрезал» единый арктический ареал *L. putnami* на части.

А.П. Андрияшев, который в своем труде о рыбах северных морей рассматривал только *L. glacialis*, называл *L. pinnifasciata* и *L. putnami* или близкими видами, или подвидами, оставляя решение данного вопроса будущему. Полученные в нашем исследовании генетические и морфологические данные скорее свидетельствуют в пользу мнения о подвидовом статусе трех форм и требуют дальнейшего изучения с применением других генетических маркеров.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова.

Адаптации к паразитизму у динофлагеллят рода *Haplozoon* (Dinoflagellata): морфофункциональный анализ строения

М.Е. Прилуцкий[1], Г.Г. Паскерова[2]*

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;*
[2]*Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.*
*E-mail: Gita.Paskerova@zin.ru

Динофлагелляты рода *Haplozoon* Dogiel, 1906 – одноклеточные организмы, паразитирующие в кишечнике полихет. По мере роста клетки гаплозооны формируют на заднем конце компартменты, отделенные друг от друга перегородками. Образующиеся отсеки клетки гетерономны, однако, в каждом из них есть хотя бы одно ядро. Выделяют три типа компартментов, которые последовательно сменяют друг друга и в совокупности образуют сложно организованное многоядерное тело или стробилу. Первый отдел, или трофомер, осуществляет прикрепление к кишечному эпителию хозяина. За ним располагаются гономеры, которые составляют большую часть тела паразита. А завершают тело споромеры, которые, как считается, дают начало пропагативным клеткам – двужгутиковым диноспорам. Число компартментов, в зависимости от вида паразита и размера клетки, может достигать нескольких десятков. При этом взаимное расположение или стереометрия компартментов различается у разных видов: отсеки могут быть расположены в один ряд, много рядов в пределах одного слоя или много рядов в пределах нескольких слоев. Компартменты в клетке не являются абсолютно изолированными друг от друга: в перегородках между отсеками располагаются каналы, обеспечивающие сообщение цитоплазмы всей клетки. Так достигается своего рода функциональная многоклеточность гаплозоонов как результат прогрессивного развития внеклеточного полостного протиста. Неизвестным остаётся механизм питания гаплозоонов. Если питание происходит локально, а не всей поверхностью клетки, то необходимо предполагать наличие транспорта веществ между компартментами. Для более полного понимания морфофункциональной организации гаплозоонов мы изучили строение *Haplozoon armatum* Dogiel, 1906, типового вида рода, паразитирующего в кишечнике беломорской полихеты *Travisia forbesii* Johnston, 1840, и сопоставили наши находки с данными литературы.

С помощью разнообразных методов световой и электронной микроскопии мы показали, что стробила *H. armatum* уплощена и состоит из нескольких рядов компартментов, уложенных в один слой. Поверхность гаплозоона несет многочисленные шипообразные выросты, достигающие максимальной плотности расположения на одной из плоских (латеральных) сторон тела. С одной стороны, шипы могут помогать удерживать тело паразита на кишечном эпителии хозяина, с другой стороны, обеспечивать пространство вокруг паразита для свободного обмена среды кишечной полости. Паразит прикрепляется трофомером к энтероциту хозяина с помощью сложно организованного аппарата прикрепления и питания. На переднем конце гаплозоон имеет прикрепительный диск – вытянутая вдоль переднего края трофомера борозда, обрамленная губами или, как принято в литературе, руками. В одном из концов борозды располагается подвижный стилет, который способен втягиваться внутрь трофомера и выдвигаться за его пределы. Стилет, вероятно, служит для локального разрушения энтероцита хозяина. Положение стилета определяет узкую сторону стробилы как дорзальную. В другом конце борозды, фактически на вентральной узкой стороне стробилы, располагаются псевдоподии, представляющие собой тонкие выросты, проникающие глубоко в цитоплазму клетки хозяина и, вероятно, участвующие в резорбции питательных веществ. Подобная организация трофомера характерна в целом и для других представителей рода *Haplozoon*. Псевдоподии поддерживаются цитоскелетными элементами, как предполагается, тубулиновой природы (Angel et. al., 2021). Микротрубочки тянутся вдоль вентральной стороны из псевдоподий в трофомер и последующие компартменты вплоть до задних отсеков

через каналы в разделяющих перегородках (Догель, 1910; наши наблюдения). По ходу расположения этих микротрубочек на вентральной стороне большинства компартментов располагаются поры. Мы предполагаем, что поры дополнительно участвуют в поглощении питательных веществ из полости кишки хозяина. Микротрубочки играют роль транспортных путей и таким образом участвуют в распределении питательных веществ от переднего конца к заднему, от вентральной стороны к дорзальной. Трофомер подвижен и позволяет паразиту перемещаться вдоль кишечного эпителия полихеты.

Выявленное строение клетки *H. armatum* в сравнении со строением других представителей рода позволяет нам утверждать, что сложная организация трофомера является адаптацией гаплозоонов к паразитическому образу жизни в кишке полихет. С помощью трофомера паразиты обеспечивают питательными веществами свои компартменты, тем самым достигая больших размеров клетки и, как следствие, значительного репродуктивного успеха.

Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 25-24-00918 (https://rscf.ru/project/25-24-00918/) с использованием оборудования ЦКП «Таксон» ЗИН РАН и РЦ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Культивирование микроорганизмов» СПбГУ.

Влияние абиотических факторов на двигательную активность церкарий *Cryptocotyle concava* (Digenea, Opisthorchiidae)

В.В. Прокофьев

Псковский государственный университет. Псков, Россия.

E-mail: prok58@mail.ru

Одна из свободноживущих фаз жизненного цикла трематод представлена церкарией, задача которой – диссеминация в пространстве и поиск места, где встреча с потенциальным хозяином наиболее вероятна. Для успешной реализации этой задачи церкарии обладают определённым видом двигательной активности. Как правило, это плавание при помощи локомоторного органа – хвоста. При этом на церкарий воздействуют те же факторы внешней среды, что и на свободноживущие водные организмы. В первую очередь это температура и солёность воды. Вместе с тем, в последние десятилетия отмечается отчётливая тенденция к глобальному изменению климатических условий. Повышение температуры, особенно заметное в арктических районах, приводит к ускоренному таянию льдов, что может вызвать снижение солёности не только в Арктике, но и в Мировом океане в целом. Рост концентрации CO_2 в атмосфере и его ускоренное растворение в морской воде за последние сто лет уже привёл к снижению pH Мирового океана с 8.2 до 8.1. Подобные изменения не могут не сказаться на жизнедеятельности морских гидробионтов, в том числе и трематод, в жизненном которых имеются свободноживущие фазы. В настоящей работе представлены результаты экспериментов по изучению влияния температуры, солёности и pH воды на двигательную активность церкарий *Cryptocotyle concava* Creplin, 1825.

Исследования проводили на базе Беломорской биологической станции (ББС) Зоологического института РАН, расположенной на мысе Картеш в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря (66°20.230’N; 33°38.972’E). Эксперименты проводили при помощи установки подключённой к управляющему сертифицированному аквариумному компьютеру (iks ComputerSysteme GmbH), позволяющему поддерживать параметры среды в аквариуме на заданном уровне. Перед измерением скорости плавания исследуемых церкарий предварительно акклимировали в установке в течение 2 часов при различных сочетаниях температуры (8°C, 12°C, 16°C, 20°C и 24°C), солёности (12‰, 18‰, 24‰, 30‰ и 36‰) и pH (6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5 и 9.0) воды.

Двигательную активность оценивали по изменению скорости плавания церкарий, которую определяли путём видеосъёмки с помощью установки, включающей микроаквариум и видеокамеру, сопряжённую с микроскопом. Исследуемых церкарий помещали в микроаквариум в дно которого была вклеена стеклянная измерительная пластинка с нанесённой на неё сеткой с ценой деления стороны квадрата 1 мм. Во время наблюдений группу церкарий в количестве 5-10 экз. помещали в микроаквариум и в течение 1 минуты проводили непрерывную видеосъёмку.

Наблюдения с одновременной съёмкой выполняли 5 раз, затем заменяли церкарий первой группы на новую и повторяли съёмку. Всего использовали 5 групп церкарий, для каждой из которых выполняли 5 видеосъёмок и, таким образом, всего получали 25 наблюдений для каждого сочетания, температуры, солёности и pH воды. Полученные изображения записывали на компьютер в формате «.avi» в стандартном режиме PAL, 25 кадров/сек. Указанный формат позволяет хранить видеоизображение полностью без сжатия и потери кадров, то есть сохранять исходную частоту записи (25 кадров/сек), что необходимо для точного обсчёта временных параметров движения личинок.

Для анализа характера движения церкарий использовали программу для компьютерной обработки видеоизображений VirtualDub. Программа позволяет производить покадровый просмотр фильма, что даёт возможность, зная длительность одного кадра (1 с/25 кадров=0,04 с), очень точно вычислять длительность видеофрагмента по количеству кадров в нем.

Двигательную активность церкарий оценивали по линейной скорости плавания. Для измерения линейной скорости подсчитывали число кадров (n) за которое церкария пересекала квадрат измерительной сетки (длина стороны квадрата 1 мм). Затем полученное число умножали на длительность одного кадра и получали время за которое личинка проплывает 1 мм пути (n кадров/мм×0,04 с/кадр) или, как обратную величину (1/(n×0,04)), скорость плавания в мм/сек. При этом учитывали лишь церкарий плывущих параллельно одной из сторон квадрата, то есть точно 1 мм по прямой и пересекающих квадрат «с ходу» на скорости и без остановок.

Для оценки значимости влияния pH, температуры и солёности воды на скорость плавания *C. concava* использовали трёхфакторный дисперсионный анализ. Силу влияния факторов (η^2) определяли по Плохинскому. Достоверность межгрупповых различий (Post-Hoc) оценивали по критерию Тюки.

Результаты проведённых наблюдений показали, что все исследуемые факторы достоверно (Post-Hoc по Тюки: $P < 0.01$) оказывают влияние на скорость плавания церкарий *C. concava*. При этом, максимальное влияние на скорость плавания личинок оказывает температура (η^2=49.1 %), меньшее влияет кислотность (η^2 = 6.1%) ещё меньше – солёность воды (η^2 = 2.4%).

Средняя скорость плавания церкарий C. concava достигала максимальных значений (3.62±0.18 мм/сек) в диапазоне pH от 7.5 до 8.5 при температуре 20 °C и солёности 24‰, минимальных (1.17±0.05 мм/сек) – при температуре 8 °C, солёности 12 ‰, кислотности 6.5. При отклонении от этих условий скорость движения церкарий снижалась.

Анализ вклада отдельных факторов и их сочетания в регуляцию скоростных показателей плавания церкарий *C. concava* позволил выявить толерантные диапазоны колебаний факторов, внутри которых скорость плавания личинок достоверно не изменялась.

Влияние температуры воды на скорость плавания исследуемых церкарий оказалось достоверным во всем диапазоне экспериментальных значений (Post-Hoc по Тюки: $P < 0.01$). Выявить толерантный диапазон не удаётся, можно лишь отметить, что оптимальной температурой можно считать 20 °C, так как изменение этого показателя, как в сторону уменьшения, так и повышения приводит к снижению скорости плавания церкарий.

Скорость движения церкарий *C. concava* достоверно не отличалась лишь в диапазоне 18-30 ‰, в остальных случаях различия были достоверны (Post-Hoc по Тюки: $P < 0.001$). В границах солёности 18-30 ‰ скорость плавания была максимальной, а выход за пределы границы в обе стороны приводил к снижению двигательной активности.

Достоверное снижение скорости плавания исследуемых церкарий отмечалось при pH ниже 7.5 и выше 8.5 (Post-Hoc по Тюки: $P < 0.0001$). Внутри указанного диапазона различия были недостоверны.

Взаимодействия факторов были достоверны, но объясняли незначительную часть наблюдаемой дисперсии. При отклонении температуры от оптимальной (20°C) влияние pH возрастало: при 20°C только понижение pH до 6.5 достоверно (Post-Hoc по Тюки: $P < 0.001$) снижало скорость движения церкарий. При 24°C скорость движения снижалась (Post-Hoc по Тюки: $P < 0.001$), как при снижении pH до 6.5, так и при повышении до 9.0. При 8°C скорость движения снижалась (Post-Hoc по Тюки: $P < 0.01$) уже при понижении pH до 7.0. Вместе с тем наибольшее влияние pH на скорость движения наблюдалось при оптимальной солёности (24‰), в то время как при понижении или повышении солёности влияние pH несколько нивелировалось. В целом, взаимодействие факторов в основном сводилось к тому, что по мере удаления от оптимальных условий по одному фактору, возрастало влияние других факторов на скорость движения церкарий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-14-00329-п.

Белое море: от промыслов поморов к марикультуре, науке и туризму

В.А. Прощакова*, М.Д. Артамкин, Ф.В. Ли, А.Д. Демидов

АО «Морские неакустические комплексы и системы», Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: info@naeco.ru

Белое море исторически является пространством хозяйственного и социокультурного взаимодействия человека с морской средой. Основу использования его ресурсов составляли промыслы, позднее к ним добавились марикультура, научные исследования, образование и туризм. Сегодня эти направления сосуществуют в одной акватории, что требует согласования хозяйственных, экологических и социальных интересов.

Цель работы — проследить трансформацию форм использования Белого моря и определить признаки перехода от их сосуществования к устойчивому развитию прибрежной природно-хозяйственной системы.

Хозяйство поморов основывалось на сезонных морских промыслах: тресковом, сельдяном и зверобойном. По данным И.Ф. Ушакова, к концу XIX века товарный вылов беломорской сельди составлял около 75 тыс. пудов, или 1200 т, в год. Передача промысловых навыков обеспечивала накопление знаний об акватории и промысловых видах.

В XX веке значение традиционных сезонных форм промысла постепенно редуцировалось. Одновременно появились новые способы использования биологических ресурсов. В 1970–1980-е годы на Белом море проводились исследования по культивированию мидии *Mytilus edulis*. Наряду с изъятием природного ресурса формировался подход, основанный на управляемом выращивании морских организмов.

Современное развитие этого направления иллюстрирует Чупа. В 2023 году сообщалось о реализации в Лоухском районе аквакультурного и туристического кластера с мидийной фермой и экокурортом; ожидаемый объём первого урожая составлял 10–20 т. В той же губе с 1957 года работает Беломорская биологическая станция «Картеш» ЗИН РАН. Её исследования включают экологию рыб и беспозвоночных, многолетнюю динамику планктонных и бентосных сообществ и механизмы адаптации беломорских организмов. Беломорские научные стационары выполняют и образовательную функцию, аффилируя научные исследования с подготовкой специалистов и студенческими практиками. Таким образом, на одной прибрежной территории совмещаются хозяйственная, научная, образовательная и потенциально туристическая функции.

Однако само по себе совмещение нескольких видов деятельности ещё не свидетельствует об устойчивом развитии территории. Для определения критериев его оценки использованы международные подходы к устойчивому управлению морскими и прибрежными территориями. UNEP при оценке достижения ЦУР 14.2 связывает экосистемное управление с интегрированным управлением прибрежной зоной (ICZM), морским пространственным планированием и другими территориально ориентированными механизмами, включая переход к адаптивному управлению.

FAO рассматривает экосистемный подход как интеграцию деятельности в более широкую социально-экологическую систему. Для аквакультуры он предусматривает определение границ системы и заинтересованных сторон, выявление проблем, постановку целей, выбор мер, мониторинг и пересмотр решений. Для оценки устойчивости FAO используется также модель Pressure–State–Response (PSR), связывающая антропогенную нагрузку, состояние системы и управленческий ответ.

Российские документы стратегического планирования задают близкие целевые ориентиры. Национальными целями до 2030 года и на перспективу до 2036 года определены «экологическое благополучие» и «устойчивая и динамичная экономика»; среди задач — сохранение биоразнообразия, устойчивое развитие ООПТ и создание условий для

экологического туризма. Стратегия пространственного развития РФ предусматривает формирование сбалансированной системы пространственного развития.

Таким образом, международные подходы задают механизм интегрированного и адаптивного управления, а российские документы — его целевые ориентиры. На их основе для анализа материалов по Белому морю выкристаллизована схема из пяти элементов: вид использования территории, антропогенная нагрузка, состояние природной системы, социально-экономический эффект, управленческий ответ.

Ключевым признаком устойчивого управления является обратная связь: изменение состояния природной системы должно учитываться при регулировании интенсивности и режима её использования.

Эта логика рассмотрена на двух участках Беломорья. Первый — район Соловецких островов. Культурно-познавательный туризм здесь связан с ансамблем Соловецких островов, а природно-ориентированный — в том числе с наблюдением за репродуктивным скоплением белухи *Delphinapterus leucas*, которое с 1995 года является объектом многолетних исследований Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

В диссертационном исследовании репродуктивного скопления белух антропогенное воздействие выделено как самостоятельный фактор; одной из задач являлось выявление связанных с ним изменений поведения животных. Для Соловков прослеживаются несколько элементов предложенной схемы: природный объект имеет научную и туристическую ценность, присутствует антропогенное воздействие и ведутся длительные наблюдения. Однако в рассмотренных материалах не выявлен механизм, связывающий результаты наблюдений с корректировкой режима туристического использования.

Второй пример — Чупа. Здесь совмещаются марикультура, научная и образовательная деятельность, предусматривается развитие туристической функции. Многолетние исследования «Картеша» создают основу для оценки изменений морской экосистемы. Вместе с тем источники не позволяют установить наличие механизма, связывающего результаты этих наблюдений с корректировкой совокупной хозяйственной и туристической нагрузки.

Сопоставление двух примеров показывает, что на Белом море сформированы предпосылки интегрированного устойчивого развития: многофункциональное использование территории, длительные научные наблюдения и возможность оценки отдельных видов антропогенного воздействия. Однако обратная связь между изменением состояния природной системы и корректировкой режима её использования в рассмотренных материалах не выявлена.

Практический переход к такой модели требует консолидировать научные, хозяйственные и управленческие инструменты и может включать три этапа. Первый — выявление участков совмещения хозяйственной, научной, образовательной, туристической и природоохранной функций. Второй — формирование показателей «нагрузка — состояние — эффект» и их регулярный мониторинг. Третий — использование результатов мониторинга для сохранения или корректировки режима хозяйственного и туристического использования.

Таким образом, переход от промыслов поморов к марикультуре, науке и туризму показывает, как менялись формы использования Белого моря. Традиционные промыслы были основаны, прежде всего на добыче морских ресурсов, тогда как сегодня одна территория может одновременно использоваться для марикультуры, научных исследований, образования и туризма. В этих условиях устойчивое развитие зависит не только от каждого направления в отдельности, но и от согласованности их совместного развития и учёта состояния морской экосистемы.

Ревизия видового состава гидроидных Белого моря

А.А. Прудковский

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

*E-mail: aprudkovsky@wsbs-msu.ru

Гидроидные Белого моря имеют долгую историю исследования. Уже в конце 18 века вид *Sertularia obsoleta* был описан поблизости от мыса Канин нос, на выходе из Белого моря (Lepechin, 1781). Впоследствии детальные исследования фауны гидроидов Белого моря были проведены в конце XIX и в начале XX веков. Первый список видов, представленный К.С. Мережковским, включал 41 вид (Mereschkowsky, 1878). Вскоре после этого Н.П. Вагнер отметил для Белого моря девять видов гидромедуз, а также два вида гидроидных из семейства Hydractiniidae (Вагнер, 1886). Новые списки видов гидроидных были составлены А.В. Шидловским и А.А. Бирулей, и включены в «отчет о состоянии и деятельности Соловецкой биологической станции в 1897 году» (Педашенко, 1898). А в 1902 году А.В. Шидловский опубликовал монографию «Гидроиды Белого моря у берегов Соловецких островов», в которой он отмечает уже 57 видов (Шидловский, 1902). Монография А.К. Линко (1911-1912) содержит детальные описания «гидроидной фауны русских морей», а также включает исторический обзор предыдущих исследований. Описания видов семейства Sertulariidae, которые не вошли в монографию, были опубликованы немного позднее Н.В Куделиным (Куделин, 1914). А.К. Линко (1911) отмечает для Белого моря 71 вид гидроидных. По результатам комплексной беломорской океанологической экспедиции, под руководством К.М. Дерюгина, получены ценные сведения по составу и распределению донной фауны Белого моря (Дерюгин, 1928). В том числе были собраны образцы, относящиеся к 36 видам гидроидных. Учитывая данные предшествующих исследователей, К.М. Дерюгин приводит для Белого моря список из 81 вида гидроидных. Видовой состав гидроидных Белого моря был существенно переосмыслен Д.В. Наумовым (Наумов, 1960), который свел часть ранее описанных видов в синонимы, исключил некоторые редкие находки и расширил перечень видов для некоторых родов. В итоге в его списке гидроидов Белого моря также 81 вид, хотя перечень лишь частично совпадает с видовыми списками предыдущих исследователей. Последняя переоценка видового состава гидроидных Белого моря выполнена А.Е. Анцулевичем (Анцулевич, 2015). Во второй половине XX века для Белого моря было отмечено ещё несколько видов гидроидных и в список А.Е. Анцулевича включено 85 видов. Несмотря на длительную историю исследований гидроидных Белого моря, наши знания об их видовом составе продолжают расширяться. В XXI веке стимулом для продолжения исследований стало появление молекулярно-генетических методов, которые теперь повсеместно используются для видовой идентификации. Недавно такой подход был успешно применен для изучения видового разнообразия двух семейств гидроидных в Белом море (Prudkovsky et al., 2019, 2023; Prudkovsky, 2026).

В данной работе я провел анализ видового разнообразия гидроидных Белого моря с использованием молекулярно-генетических методов. Материалом для работы послужили около 200 образцов, собранных в окрестностях беломорской биологической станции имени Н.А. Перцова и в акватории Соловецких о-вов. Также мною был использован материал (90 образцов) из коллекции филиала Зоологического музея МГУ на беломорской биологической станции имени Н.А. Перцова, собранный в ходе проекта «Сто лет жизни Белого моря» (Азовский и др., в печати). Мною было получено 520 новых генетических последовательностей для трёх маркеров (16S, COI, ITS).

Генетические последовательности, полученные для гидроидных Белого моря, можно предварительно отнести к 77 видам. Однако при сопоставлении полученных данных с видовыми списками из литературных данных обнаружены существенные расхождения. Несколько обнаруженных мною видов ранее не были известны для Белого моря (*Coryne hincksi*, *Eudendrium album*, *Thuiaria arctica*). Вид *Eudendrium arbuscula*, хотя и был отмечен для Белого

моря в исследованиях конца XIX – начала XX вв, однако впоследствии был исключен из видовых списков. Вид *Lafoea fruticosa* в настоящее время считается невалидным согласно базе данных WoRMS. Генетические последовательности видов *Acaulis primarius*, *Coryne hincksi*, *Sertularella gigantea*, *Tamarisca tamarisca*, *Thuiaria arctica*, *Thuiaria cupressoides*, *Tubularia regalis* отсутствуют в базе данных GenBank. Только для 40 видов идентификация по морфологическим критериям полностью совпадает с результатами молекулярно-генетического анализа. Некоторые образцы *Halecium* spp. и *Eudendrium* sp. не могут быть однозначно идентифицированы по причине отсутствия гонофоров в доступном материале. Для идентификации видов *Sertularia* spp. требуется больший объём материала и более детальный анализ по причине высокой морфологической изменчивости. Для некоторых образцов из Белого моря, отнесенных к видам *Orthopyxis integra, Rhizocaulus verticillatus, Rhizorhagium roseum, Calycella syringa, Grammaria abietina, Filellum serpens*, необходим комплексный анализ морфологических признаков и генетических последовательностей, так как предварительный молекулярно-генетический анализ не подтверждает результаты идентификации по морфологическим критериям.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №25-24-00697, https://rscf.ru/project/25-24-00697/

Распределение, продолжительность жизни и характеристики линейного роста *Tridonta borealis* Schumacher, 1817 в губе Чупа (Кандалакшский залив, Белое море)

П.Р. Рахматулина*, А.В. Герасимова
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: m-lynx25@mail.ru

Морские двустворчатые моллюски – традиционный объект популяционных экологических исследований, что в основном обусловлено массовостью, относительно слабой подвижностью многих представителей данной группы, а также возможностью относительно легко оценить возраст особей по регистрирующим структурам (раковинам животных). Тем не менее большинство работ демэкологической направленности выполнено лишь на нескольких представителях Bivalvia. И свойства популяций многих даже весьма широко распространенных видов на данный момент остаются либо крайне слабо изученными, либо практически неизвестными. Типичным примером такой ситуации могут служить широко-распространенные бореально-арктические двустворчатые моллюски *Tridonta borealis* Schumacher, 1817. Они обитают во всех районах Северного Ледовитого океана. В Атлантическом океане расселяются на юг до залива Массачусетс и Балтийского моря, в Тихом океане – до залива Аляска и Корейского пролива. Известно, что представители данного вида весьма устойчивы к аноксии, их раковины могут быть использованы при ретроспективном исследовании содержания растворенного кислорода в воде (Schöne et al., 2022). Однако данные о популяционных характеристиках тридонт до сих пор остаются либо крайне фрагментарными, либо полностью отсутствуют. В значительной степени это объясняется невозможностью определить возраст представителей данного вида по внешней морфологии раковины.

В Белом море *Tridonta borealis* найдены почти повсеместно на глубинах от поверхности до 40 м. При этом закономерности вертикального распределения тридонт, их биотопические предпочтения крайне слабо изучены. Аналогично очень мало информации о ростовых показателях данного вида и его продолжительности жизни в рассматриваемом регионе. Известна всего лишь одна статья, посвященная анализу продолжительности жизни и характеру роста беломорских тридонт (Moss et al., 2018), однако взятая выборка была относительно мала, и есть определенные сомнения в надежности полученных результатов. В 2021-2023 гг. были предприняты комплексные исследования распределения макробентоса в сублиторальной зоне губы Чупа (Кандалакшский залив Белого моря). *T. borealis* оказались одними из наиболее массовых представителей донной биоты на мелководьях губы. Цель данной работы – анализ закономерностей распределения, продолжительности жизни и характера роста данного вида в губе Чупа.

Летом 2021-2023 годов *T. borealis* были собраны вместе с другими представителями макробентоса (всего взято 43 станции (8 разрезов) на глубинах от 3 до 40 м) с помощью дночерпателей Ван-Вина (площадь пробоотбора 0,025 м^2, пятикратная повторность проб на каждой станции) и зубчатого водолазного дночерпателя (площадь пробоотбора 0,05 м^2, трехкратная повторность проб на каждой станции). Из абиотических показателей на станциях учтены глубина, расстояние от кута губы, характеристики донных отложений (гранулометрический состав грунта, содержание органических веществ в грунте). Сравнение станций по абиотическим характеристикам проведено с помощью кластерного анализа и многомерного шкалирования (MDS), мера сходства расстояние Евклида. Для оценки вклада отдельных переменных в различия групп станций использован анализ Simper. Изучение связи распределения абиотических характеристик и показателей обилия тридонт проведено с применением корреляционного анализа (коэффициент ранговой корреляции Спирмена).

Все особи *T. borealis* в пробах были измерены с точностью до 0,1 мм, их возраст и характер линейного роста определен в результате анализа внутренних меток роста – по спилам

раковины. Для этого створки раковин были залиты в эпоксидную смолу, распилены от вершины к наиболее удаленному краю раковины с помощью прецизионного отрезного станка DTQ-5. Спилы отшлифованы (на шлифовально-полировальном станке МР-2) и отполированы. Под бинокуляром произведен подсчет меток роста преимущественно на спилах подмакушечных зубов замка. Всего таким образом было обработано около 70 особей. Для реконструкции роста тридонт в отдельных местобитаниях использована линейная модификация уравнения Берталанфи.

Tridonta borealis были найдены в губе Чупа на 28 станциях (из 43) на глубинах от 3 до 20 м, однако их основные запасы оказались приурочены к глубинам 3-10 м (22 станции). На этих станциях донные отложения представлены смешанным грунтом – в основном мелкий песок (в среднем около 30 %), галька (в среднем 20 %) и алевриты, пелиты (17 % в среднем), что не противоречит известным литературным данным в отношении абиотического окружения рассматриваемого вида. Средние численность и биомасса тридонт на глубинах 3-10 м достигали 111 экз./м^2 и 70 г/м^2, варьируя в широких пределах - 7-388 экз./м^2 и 0.02-654 г/м^2 соответственно. Максимальные величины обилия моллюсков отмечены на глубине 6 м в одноименном сообществе (173 экз./м^2 и 654 г/м^2). В целом *T. borealis* доминировали по биомассе среди представителей макрозообентоса на 11 станциях (из 22), достигая от 18 до 76 % от суммарного показателя.

Среди рассматриваемых абиотических характеристик станций статистически значимая корреляция показателей обилия тридонт выявлена лишь с глубиной и содержанием органических веществ в грунте (обратная корреляция, коэффициент корреляции Спирмена -0.5 - -0.6). В итоге анализа сходства станций с глубин 3-10 м по абиотическим параметрам было выделено 3 группы, основной вклад в расхождения между которыми (Simper анализ) вносили доли галечников, мелкого песка и алевритов, пелитов. Однако значимых различий в показателях обилия *T. borealis* в разных кластерах не обнаружено. При разделении станций на две группы в соответствии с проявлением эффекта доминирования тридонт по биомассе и последующем сравнении абиотических показателей полученных групп (анализ Anosim), достоверных различий между последними найдено не было. Единственно – на станциях, где рассматриваемый вид доминировал среди организмов макрозообентоса в 1,5 раза ниже доля камней (галечников) и почти в два раза выше доля среднего песка.

Максимальные размеры и возраст *Tridonta borealis* в рассматриваемом районе Белого моря составили 43 мм и 23 года соответственно и в целом соответствовали известному для этого вида диапазону вариабельности аналогичных показателей в разных частях ареала – длина раковины до 50 мм и возраст 8-150 лет. Однако по нашим данным продолжительность жизни беломорских тридонт оказалась почти в два раза ниже, чем указано в литературе (Moss et al., 2018). Следует отметить, что и по внутренним меткам оценка возраста представителей данного вида оказалась весьма проблематична и достаточно субъективна, поэтому мы планируем продолжить работу в этом направлении и рассматриваем наши результаты лишь предварительными. Сравнительный анализ характера роста тридонт в разных местообитаниях включал итоги обработки спилов раковин моллюсков только с трех разрезов (моллюски с глубин 3-10 м), где представители данного вида были наиболее массовыми (разрезы в кутовой, центральной и устьевой частях губы Чупа), для каждого разреза данные с разных глубин были объединены. На данном этапе исследований не выявлено значимых отличий в характере роста *T. borealis* на разных участках, несмотря на некоторые различия характеристик донных отложений (в частности вклад галечников и мелкого песка).

Продолжительность жизни и линейный рост
***Serripes groenlandicus* (Mohr, 1786) в северных морях**

В.А. Ржевская*, А.В. Герасимова
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: valeriarzhevskaya14@gmail.com

Широко распространенные высокобореально-арктические двустворчатые моллюски *Serripes groenlandicus* (Mohr, 1786) обитают во всех северных и дальневосточных морях России. Известно, что экологические характеристики этих животных (прежде всего, закономерности линейного роста) весьма чувствительны к условиям окружающей среды и могут быть вполне использованы как индикатор изменений последних. Тем более, что представители данного вида относятся к редким примерам Bivalvia, чей возраст весьма надежно и относительно легко можно определить по внешней морфологии раковины. Однако нередко возникают ситуации, существенно осложняющие данную процедуру. Раковины серрипесов отличаются хрупкостью и бывают часто повреждены при сборе материала. Не способствует облегчению оценки возраста моллюсков и эрозия верхней части раковины, и сближенные наружные метки остановки роста на поздних этапах онтогенеза. В представляемом исследовании мы предприняли сравнительный анализ продолжительности жизни и характера линейного роста *S. groenlandicus* в трех северных регионах: Белое, Печорское (юго-восточная часть Баренцева моря) и Карское моря. При этом возраст и характер линейного роста *S. groenlandicus* оценивали при использовании наружных и внутренних (по спилам раковины) ростовых меток. Последний способ применяли как для верификации оценки возраста моллюсков по внешней морфологии раковин, так и в сложных случаях – поврежденные раковины, особи старших возрастов (с длиной раковины в основном более 40-50 мм и (или) в возрасте более 12 лет).

В работе в основном использованы материалы многолетнего мониторинга трех поселений *S. groenlandicus* на Белом море (Герасимова, 2021), материалы экспедиций в Печорское и Карское моря в 2012-2013, 2023 гг. К сожалению, не все рассматриваемые регионы в наших материалах оказались представлены в равной степени. Материалы по Карскому морю включали всего лишь 5 особей старше одного года. Соответственно, характеристики роста и продолжительности жизни в этом водоеме следует рассматривать лишь как предварительные.

При определении возраста серрипесов по внутренним меткам роста (по спилам раковины) створки раковин (как правило, использована правая створка) были залиты в эпоксидную смолу, распилены от вершины к наиболее удаленному краю раковины с помощью прецизионного отрезного станка DTQ-5. Спилы отшлифованы (на шлифовально-полировальном станке МР-2) и отполированы. Под бинокуляром произведен подсчет меток роста преимущественно на спилах подмакушечных зубов замка. Всего таким образом было обработано 29 особей из Печорского и Карского морей. Для беломорских моллюсков ввиду их относительно небольшой продолжительности жизни в использовании данной методики для оценки возраста не было необходимости.

Итоги определения возраста *S. groenlandicus* обоими методами оказались вполне сопоставимы. Внутренние метки практически полностью дублировали наружные кольца, однако в случае эрозированных, поврежденных раковин, особей старше12-14 лет - анализ спилов практически был единственным способом относительно надежно определить возраст моллюсков. В целом, внутренние метки были лучше различимы, и их оказалось легче подсчитать. Единственно, на спилах не всегда хорошо идентифицируются первые 1-2 кольца.

Продолжительность жизни *S. groenlandicus* в анализируемых регионах варьировала от 12 до 36 лет при максимальных размерах особей от 37 мм до 65 мм. Наиболее тугорослыми оказались представители данного вида в Карском море, пойманные в юго-западной части на глубинах около 20 м. Моллюски достигали всего 37 мм за 19 лет. Самые крупные особи и самый длинный жизненный цикл отмечены в Печорском море – 65 мм и 36 лет соответственно. Период

относительно быстрого роста серрипесов в этом регионе в основном охватывал первые 12-14 лет, после которых годовые приросты были около 2 мм/год и менее. Соответственно, особи с длиной раковины около 50 мм могли иметь возраст от 11 до 29 лет.

В Белом море продолжительность жизни серрипесов гораздо меньше – наибольший возраст пойманных живых экземпляров не превышал 12 лет, а максимальные размеры в обоих морях вполне сравнимы - 63 мм. При этом беломорские *S. groenlandicus* демонстрировали наиболее широкую изменчивость средней скорости роста в разных местообитаниях (от 3 до 10 мм/год в течение первых пяти лет), которая охватывала почти все разнообразие ростовых показателей этого вида в ареале (при объединении собственных и литературных данных). По темпу роста наиболее быстрорастущие беломорские серрипесы уступали только моллюскам из прибрежных вод Канады (Kilada et al., 2007) и из северных районов Берингова моря (Khim, 2001). В обнаруженных различиях группового роста серрипесов в пределах локальной акватории, по-видимому, логично видеть отражение особенностей биотопов, определяющих, прежде всего, условия питания моллюсков. Возможно, условия питания являются определяющими и в эффектах географической гетерогенности роста этих моллюсков, а температурные характеристики акваторий оказывают лишь опосредованное влияние на рост этих животных, воздействуя на условия питания. Фильтрующие сестонофаги *S. groenlandicus* в зависимости от глубины обитания питаются преимущественно либо фитопланктоном, либо фитодетритом. Соответственно, продолжительность периода вегетации фитопланктона, определяемая в значительной степени температурным режимом акватории, может иметь серьезное значение для ростовых показателей этих моллюсков. В Белом море период вегетации фитопланктона длится около 6 месяцев (с мая по октябрь), а по уровню первичной продукции этот водоем среди арктических морей уступает только южным прибрежным наиболее продуктивным районам Баренцева моря, а в Карском море уровень первичной продукции гораздо ниже, чем в обоих вышеназванных водоемах (Бергер, 2007). Соответственно, представляется вполне логичной столь низкая скорость роста *S. groenlandicus* в Карском море (менее 3 мм/год в течение первых пяти лет). При этом в Печорском море средняя скорость роста моллюсков в течение первых 10 лет практически не отличалась от таковой в одном из рассматриваемых беломорских местообитаний. Кроме того, наилучшие условия питания для представителей данного вида складываются, по-видимому, на малых глубинах, где до дна доходит больше живого фитопланктона и продуцируемого фитодетрита, более интенсивное перемешивание вод. Косвенной оценкой гидродинамических условий могут служить и характеристики донных отложений (например, гранулометрический состав грунта). Очевидно, неслучайно наибольшей скоростью роста (9-10 мм/год в первые пять лет жизни) отличались беломорские *S. groenlandicus*, обитающие на самых мелководных участках (глубина 1-3 м), в донных отложениях которых практически отсутствовали мелкозернистые фракции (алевриты и пелиты).

Микропланктон Белого моря в период ледостава:
структура, трофические связи, оценка продуктивности

Н.Д. Романова*, А.Ф. Сажин, С.А. Мошаров, А.В. Дриц,
А.Ф. Пастернак, В.М. Сергеева
Институт Океанологии РАН им. П.П.Ширшова, Москва, Россия.
*E-mail: Romanova-Nadya@yandex.ru

Прибрежные экосистемы высоких широт демонстрируют ярко выраженную сезонность в активности гидробионтов, в том числе и микропланктона. Большинство исследований сконцентрировано на периодах максимальной активности в вегетационный сезон (весна-лето), есть данные и о низкой активности в зимнее время. Однако отдельный интерес представляет момент перестройки сообщества: переходные периоды, когда резко меняются температура, освещенность и гидрофизический режим. Мы предположили, что именно в эти периоды, когда снижается активность автотрофного фитопланктона и мезозоопланткона, вклад микробных пищевых сетей в продуктивность планктонного сообщества наиболее весом. С этой точки зрения, мы представляем результаты комплексных работ на базе ББС МГУ в период ледостава с 18 по 28 ноября 2013 г.

Материал был собран в прибрежной зоне Кандалакшского залива Белого моря непосредственно около ББС МГУ (координаты 66^{o} 34' с.ш., 33^{o} 08' в.д., глубина в точке отбора проб 3 м) на максимальном приливе в утреннее время. А также над глубинами 106-112 м в проливе Великая Салма. Профиль температуры в точках отбора проб измеряли с помощью автономного погружного зонда SBE 39 (Sea-Bird Equipment Co., США). Профиль освещенности измеряли с помощью измерительного комплекса Li-Cor на основании значений падающей солнечной радиации подводной освещенности на дискретных глубинах. Этот же измерительный комплекс был использован для измерения освещенности в течение светового дня, что позволило судить о суточной динамике и интегральном суточном значении освещенности. Пробы воды отбирали с выбранных горизонтов с помощью 1-литрового батометра Нискина. Содержание хлорофилла *a* и феофитина проводили флуорометрическим методом. Первичную продукцию измеряли при помощи радиоуглеродной модификации скляночного метода. Общую численность прокариот определяли методом флуоресцентной микроскопии с использованием красителя DAPI, долю бактериопланктона с активной электронтранспортной цепью измеряли после инкубации с флуорохромом CTC. Продукцию прокариот измеряли экспериментально прямым методом. Автотрофных и гетеротрофных одноклеточных эукариот окрашивали примулином и учитывали с помощью флуоресцентной микроскопии. Пробы мезозоопланктона отбирали методом вертикальных ловов с замыканием планктонной сети Джеди 37/50 с фильтрующим конусом из капронового сита №38 (размер ячеи 180 х180 мкм).

В период работ температура воздуха колебалась ночью в пределах -12 - -5 ^{o}C, и от -7 - -2 ^{o}C в дневное время. Поверхностная температура моря за время проведения экспедиции снизилась с +4 - +5^{o}C до +0.2 - 0 ^{o}C. Термоклин находился глубине 20-30 м. Продолжительность светлого времени составляла около 5 часов, а суммарная суточная освещенность составляла всего 0.25 моль фотонов/м^2 в сутки. На литорали в отлив намерзала ледяная корка. В самом прибрежье в 20 числах ноября в воде начал образовываться лед снежного генезиса.

Значения первичной продукции не превышали 0.065 мг С/м^3 в час. Концентрация хлорофилла также была достаточно низкой, составляя от 0.066 до 0.085 мг/м^3, при этом доля феофитина составляла от 57 до 64%, что указывает на малоактивное состояние фитопланктона. В видовом составе фитопланктона среди пико- и нанопланктона преобладали одиночные цианобактерии. Суммарная численность мелких автотрофных форм, включая цианобактерий, не превышала 1000 кл/мл, а диатомовых водорослей в большинстве случаев

была менее 100 кл/л. Перидиниевые водоросли были наиболее многочисленны в форме спор, их численность могла доходить до 150-200 кл/л.

Общая численность прокариот на глубоководной станции варьировала в верхнем 25-метровом слое от 159 до 218 тыс. кл/мл, а биомасса - от 2.57 до 7.5 мг С/м^3, достигая наибольших значений на глубине 20 м в области термоклина. На прибрежной станции эти показатели составляли 193 тыс. кл/мл и 4.13 мг С/м^3 соответственно. Доля клеток с активной электрон-транспортной цепью не различалась достоверно в верхнем 25-метровом слое на глубоководной точке, составляя на разных горизонтах от 11 до 15% общей численности прокариот. Аналогичная величина в 12±3% общей численности прокариот наблюдалась и на прибрежной станции. Удельная продукция бактериопланктона была отличной от нуля в верхнем десятиметровом слое на станции в проливе Великая Салма, варьируя в пределах 0.25 - 0.27 в сут. Соответствующие значения продукции бактериопланктона составляли 0.04 и 0.07 мг С/м^3 в час, что сопоставимо с величинами первичной продукции. Обилие гетеротрофных жгутиковых не превышало 60 кл/мл.

Несмотря на низкую активность первичных продуцентов, часть видов мезозоопланктона в верхнем 100-метровом слое воды сохранила пищевую активность. *Oncaea borealis* и *Tisbe furcata, Pseudocalanus minutus* и *Temora longicornis* содержали в кишечнике пищу, причем пищу растительного происхождения. Оценка питания по флуоресценции растительных пигментов в кишечнике выявила потребление растительной пищи копеподами *O. borealis, P. minutus* и *T. longicornis* на уровне нескольких процентов от массы тела в сутки. Активное питание наблюдалось и у личинок моллюсков *Limacina helicina*. Также копеподы *O. borealis* и *T. furcata* сохранили репродуктивную активность: более 10% самок этих видов несли яйцевые мешки, из которых в лабораторных условиях вывелись науплии.

Таким образом, даже несмотря на невысокую относительную активность гетеротрофных микроорганизмов в период ледостава, их доля в продуктивности и биомассе микропланктонного сообщества становится сопоставима и даже превышает вклад автотрофной компоненты.

Работа выполнена по теме Гос. задания ИО РАН FMWE-2024-0021.

Механизм сотрудничества научной лаборатории и детского лагеря на примере круглогодичных исследований планктона Белого моря

М.В. Сафонов[1*], Н.П. Жданова[1], С.А. Назарова[1], Н.А. Червякова[1], К.Н. Кособокова[2], Д.А. Юрикова[2], А.Ю. Сафонова[1]

[1]Научно-образовательный центр «Полярный Круг» Москва, Россия;
[2]Институт Океанологии РАН им. П.П.Ширшова, Москва, Россия.
*E-mail: sever@dive.ru

В настоящее время федеральные образовательные стандарты (ФГОС) уделяют большое внимание развитию проектной деятельности школьников. Данный вид деятельности определяется как один из наиболее продуктивных способов достижения предметных, метапредметных и личностных результатов учащихся.

Ценность таких проектов не ограничивается только образовательными результатами. Они могут также внести свой вклад в сбор научных данных. Как известно, в последние годы сбор данных волонтерами в рамках гражданской науки получил широкое распространение, и показывает хорошие результаты. Школьные исследовательские проекты могут органично вписаться в этот процесс.

Центр «Полярный Круг» с 2005 года проводит образовательные программы для школьников в области биологии в рамках собственного детского лагеря. Преподаватели научно-образовательного центра – профессиональные биологи различных специализаций. Сотрудники центра имеют большой опыт самостоятельной исследовательской деятельности, а также опыт работы с детьми, интересующимися биологией.

Сегодня «Полярный Круг» – это круглогодично работающий стационар. За годы существования центра, сотрудниками накоплен огромный всесезонный опыт работы на Белом море и создана хорошая материально-техническая база. Также разработаны методики для полевой работы в условиях открытой воды летом, со льда - зимой, и даже, в самые сложные сезоны – установления первого льда и активного снеготаяния. Эта база поддерживается и развивается за счет туристической деятельности Центра.

С 2022 года в «Полярном Круге» проводятся детские программы, включающие проектную деятельность. В отдельное направление выделились научно-исследовательские проекты со школьниками. Для участников это возможность познакомиться с профессией полевого биолога, получить первый опыт исследовательской деятельности, обработки и анализа полученных данных. А также возможность оформить полученные результаты в виде отдельного проекта для представления на конференциях или конкурсах различного уровня. Для участия в исследовательских программах приглашаются дети старше 12 лет, имеющие интерес к исследовательской деятельности.

Для проведения научно-исследовательских проектов со школьниками очень полезным и результативным оказывается сотрудничество образовательного центра с исследователями из научных институтов и ВУЗов.

Для научных сотрудников такое взаимодействие дает возможность получить необходимые данные без привлечения дополнительных человеческих или материальных ресурсов. Научный руководитель – сотрудник НИИ или ВУЗа – ставит задачу и передает методику сбора и обработки материала преподавателям «Полярного Круга». При этом он остается в поле профессионального общения со взрослыми коллегами без необходимости заниматься педагогикой.

Преподаватели «Полярного Круга» адаптируют методику для понимания и освоения школьниками, планируют сбор и обработку данных по проекту с учетом технических возможностей центра, продолжительности смены детского лагеря и образовательных задач. В ходе смены детского лагеря преподаватели проводят обучение детей предложенной

методике, непосредственно участвуют в сборе и обработке материала, отслеживают качество работы для сбора достоверных данных.
С осени 2023 года центр «Полярный Круг» сотрудничает с лабораторией экологии планктона Института океанологии РАН в рамках проекта по исследованию зоопланктона Белого моря.
В то время как динамика зоопланктона Белого моря в летний сезон к настоящему времени исследована достаточно подробно, данные о состоянии планктонного сообщества в зимний период и особенно в межсезонье остаются немногочисленными. Возможности центра, работающего круглогодично, и его уникальное географическое положение создали условия для заполнения этого пробела в научных данных.
Сотрудничество ведется в трёх направлениях. Во-первых, силами сотрудников «Полярного Круга» и детей-участников исследовательских программ проводится круглогодичный сбор проб планктона в районе пролива Великая Салма (Кандалакшский залив Белого моря). Эти пробы фиксируются и передаются в Институт океанологии РАН для дальнейшей обработки и анализа.
Во-вторых, были выбраны два вида объектов (два вида планктонных животных) для совместных исследований в формате школьных исследовательских проектов. При выборе объектов мы руководствовались следующими принципами: (1) возможность получения новых для науки знаний доступными нам методами; (2) простота видовой идентификации объекта для возможности обучить этому детей за ограниченное время смены в детском лагере и нивелирования возможных ошибок; (3) возможность адаптации методики исследования для работы с детьми. Среди компонентов беломорского планктона мы выбрали морских стрелок, представленных одним видом *Parasagitta elegans*, и наиболее крупный и легко определяемый вид веслоногих раков — *Calanus glacialis*.
В-третьих, для научных сотрудников есть возможность совмещать кураторскую деятельность в школьных исследовательских программах «Полярного Круга» со сбором материала для своей научной работы. Так, на основе отобранных проб научными сотрудниками лаборатории экологии планктона Института океанологии РАН ведется работа по анализу сезонной и межгодовой динамики созревания гонад у самок копепод *Metridia longa* - одного из доминирующих видов арктического зоопланктона. Полученные данные обобщены, написана научная статья, принятая для публикации в журнал «Океанология». С февраля 2026 года научными сотрудниками Морского гидрофизического института РАН на базе «Полярного Круга» начаты работы по изучению гидрофизических параметров в проливе Великая Салма и в глубокой части Кандалакшского залива, параллельно запущены школьные исследовательские работы по этой теме. Совместное проведение планктонологических и гидрофизических работ, обобщение и использование полученных данных видится крайне перспективным направлением на стыке двух наук, обеспечивающим заинтересованность школьников различной профессиональной ориентации и научную новизну.
С осени 2023 года было проведено 40 планктонных съемок, охватывающие все сезоны и биологически значимые периоды. Получены данные о демографической структуре морских стрелок *Parasagitta elegans* и описан цикл их полового созревания в Белом море. Для беломорской популяции *Calanus glacialis* были получены новые данные о сроках вертикальных миграций в зимне-весенний период, описано изменение размеров липидных капель в течении холодного сезона, и уточнены некоторые данные о демографической структуре калянусов зимой. Результаты работ были представлены на конференциях MARESEDU 2024 и 2025 гг, а также на 18 школьных конференциях и конкурсах городского, всероссийского и международного уровня.
Научно-образовательный центр «Полярный Круг» открыт к сотрудничеству с научными организациями для проведения разного рода исследовательских работ и проектов.

Мобильные элементы в геномах церкарий трематоды *Himasthla elongata* (Digenea, Himasthlidae) с разной реакцией на свет

А.Р. Смольянинова[1]*, Д.Д. Федоров[2], А.И. Соловьева[1]
[1]*Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия;*
[2] *Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия*
*E-mail: sar28sir14@gmail.com

Трематоды — это паразитические плоские черви, характеризующиеся жизненными циклами с чередованием партеногенетических и гермафродитных поколений, сменой хозяев и сред обитания. Успешность расселения и инвазии этих паразитов зависит от свободноживущих личиночных стадий — мирацидия и церкарии. Реакция на свет, или фотореакция, является важной поведенческой стратегией, направляющей личинок к соответствующим хозяевам (бентосным или пелагическим) и обеспечивающей выживание в различных абиотических условиях. Способность паразитов адаптироваться к изменяющимся условиям среды во многом обеспечивается геномной пластичностью, значительную часть которой определяют мобильные элементы, или транспозоны — повторяющиеся последовательности ДНК, потенциально способные изменять свое положение в геноме. Их принято разделять на два основных класса: ретротранспозоны (класс I), перемещающиеся по механизму «copy-and-paste», и ДНК-транспозоны (класс II), перемещающиеся путем прямого вырезания и вставки (механизм «cut-and-paste»). Транспозоны влияют на геном хозяина, вызывая эффекты от поломки генов до изменения конфигурации хроматина. Они могут активировать транскрипцию в ответ на стресс, регулируя реакцию на изменения среды, и служат источником различных некодирующих регуляторных молекул. Тем не менее, роль мобильных элементов в адаптации трематод к разнообразным условиям обитания остается неясной.

В настоящей работе мы поставили цель выявить различия в копийности мобильных элементов генома у церкарий морской трематоды *Himasthla elongata* (Digenea, Himasthlidae), проявляющих разную реакцию на свет, и оценить степень их клональной вариабельности. У этого вида, помимо типичной фотоотрицательной реакции, у части церкарий выявлено фотоположительное поведение, выражающееся в активном направленном движении в сторону источника света. Доступность для *H. elongata* черновой сборки генома, транскриптомов трех стадий жизненного цикла (редии, церкарии, метацеркарии), а также созданной базы повторов и имеющихся данных о поведении церкарий в различных абиотических условиях (освещенности, солености, температуры, pH) потенциально позволяют соотнести фенотипические проявления с молекулярными механизмами регуляции.

Для анализа были сформированы 4 пула церкарий *H. elongata* с альтернативной реакцией на свет. Каждый пул церкарий был получен из примерно 50 зараженных моллюсков и собран в 2023 или 2025 гг. Для этих групп секвенировали геномы на платформе DNB-seq G400. С помощью программы RepeatExplorer2 (https://repeatexplorer-elixir.cerit-sc.cz/galaxy/datasets/c72e07eb41c4b8a6) сырые прочтения стандартизировали до 4 млн прочтений на каждую группу и провели кластерный анализ, таким образом вычленив наборы повторов, характерные для каждой из групп церкарий. Всего выявили 49 995 кластеров повторов, из которых 173 были успешно аннотированы и включали следующие группы: ретроэлементы LINE (Long Interspersed Nuclear Elements) и SINE (Short Interspersed Nuclear Elements), LTR-ретротранспозоны, ДНК-транспозоны, сателлитную ДНК и неклассифицированные элементы (Unknown).

Валидацию различий в копийности между фотоположительными и фотоотрицательными церкариями проводили методом ПЦР в реальном времени. В качестве референсного гена использовали однокопийный ген *gapdh*. Мишенями для ПЦР-анализа служили специфические участки 26 кластеров транспозонов, отобранных из числа тех, что демонстрировали

наибольшие колебания в количестве копий по данным *in silico*. ПЦР-анализ был проведен как для групп церкарий (2023 и 2025 гг), так и для 8 индивидуальных клонов – микропопуляций *H. elongata*, собранных от отдельных моллюсков. Для детекции продуктов амплификации использовали краситель Eva488, без применения флуоресцентных зондов.

Сравнение данных ПЦР в реальном времени с биоинформатическими расчетами выявило как полное соответствие, так и некоторые расхождения результатов. Среди кластеров, для которых *in silico* было предсказано большее число копий у фотоположительных церкарий, во многих случаях наблюдалось соответствие с экспериментальными данными. Результаты расчетов и ПЦР-анализа совпали для элементов 607#LTR/Pao (кластер CL92), 180#Unknown (кластер CL137), 470#LTR/Pao (кластер CL4), 53#LTR/Gypsy (кластер CL5) и 101#LTR/Gypsy (кластер CL16), 2#LINE/RTE-BovB (кластер CL17). Помимо мобильных элементов, аналогичная согласованность данных была выявлена для сателлитной ДНК 97#Satellite (кластер CL81) и SINE элемента 3#tRNA (кластер CL94). Элементы 282#Unknown (кластер CL24), 27#Unknown (кластер CL167), 72#LTR/Gypsy (кластер CL19), 374#LTR/Pao (кластер CL19), 103#LINE/CR1 (кластер CL8), 9#DNA/TcMar-Tc1 (кластер CL25), 114#LTR/Gypsy (кластер CL97), 690#LTR/Gypsy (кластер CL140) и 309#LTR/Gypsy (кластер CL143) также демонстрировали большее число копий у фотоположительных церкарий, в то время как результаты *in silico* расчетов для них демонстрировали расхождения в группах церкарий 2023 и 2025 годов, либо биоинформатический анализ не выявлял статистически значимых различий. Среди повторов с преимущественной копийностью у фотоотрицательных церкарий SINE 203#rRNA (кластер CL105) показал согласованность с расчетными данными, тогда как 524#LTR/Gypsy (кластер CL86), 509#LTR/Pao (кластер CL76), 331#LTR/Pao (кластеры CL119 и CL36) и 577#Unknown (кластер CL36) не показали выраженных различий при детекции или их расчетные данные по копийности кластеров расходились у групп церкарий 2023 и 2025 гг. Исследование на уровне индивидуальных клонов церкарий подтвердило значительную гетерогенность геномной организации исследуемых повторов. Клон #1 продемонстрировал профиль копийности, наиболее близкий к результатам кумулятивной выборки (выборки групп церкарий 2023 и 2025 гг), тогда как остальные клоны (#2–8) характеризовались фрагментарным и мозаичным распределением сигналов, что отражает выраженный индивидуальный геномный полиморфизм.

Выявленные различия в копийности идентифицированных повторов, связанные с особенностями фоточувствительности церкарий, позволяют предположить, что мобильные элементы могут быть вовлечены в молекулярные механизмы, лежащие в основе фенотипической пластичности *H. elongata*. Анализ индивидуальных клонов также выявил выраженную клональную изменчивость копийности транспозонов, свидетельствующую о значительном внутрипопуляционном геномном полиморфизме. Полученные результаты позволяют рассматривать вариации числа копий мобильных элементов как один из потенциальных факторов, связанных с формированием различий в реакции церкарий на свет и их адаптацией к изменяющимся абиотическим условиям. Таким образом, мобильные элементы представляют собой перспективные объекты для дальнейшего изучения молекулярных механизмов регуляции фотореакции и фенотипической изменчивости церкарий *H. elongata*.

Работа выполняется в рамках Государственного задания Минобрнауки России для ИНЦ РАН (№126022017769-3, биоинформатический анализ, оценка копийности повторов методом ПЦР в реальном времени), а также при поддержке гранта РНФ №23-14-00329-П (полевой сбор материала, статистическая обработка результатов ПЦР).

Культивирование трематод семейства Microphallidae: возможности и ограничения

А.И. Соколова[1,2]*, А.Г. Гончар[1,2], Д.Г. Балыко[1], П.А. Смирнов[1,2]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;*

[2]*Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.*

*E-mail: igorevna1864@mail.ru

Трематоды – паразитические плоские черви, для которых характерен сложный жизненный цикл со сменой хозяев. Трематоды группы «pygmaeus» семейства Microphallidae, широко распространенные паразиты в прибрежье Белого моря, имеют двухххозяинный жизненный цикл. В качестве первых промежуточных хозяев они используют моллюсков рода *Littorina*, а в качестве окончательных – морских птиц.

Благодаря высокой зараженности моллюсков и дискенному жизненному циклу, микрофаллиды группы «pygmaeus» удобны для изучения популяционной структуры, эволюции и специфичности паразитов. Так, в большинстве случаев один вид трематод способен успешно заражать один вид моллюсков, в редких случаях спектр хозяев расширяется до нескольких видов в пределах одного рода. Однако вид *Microphallus pseudopygmaeus* Galaktionov, 2009 обладает уникально широкой специфичность к первым промежуточным хозяевам: он заражает девять видов моллюсков из двух подклассов: Vetigastropoda и Caenogastropoda. Переход на новых, филогенетически удаленных хозяев является предпосылкой к видообразованию. Хотя морфологические и молекулярно-генетические данные подтвердили, что *M. pseudopygmaeus* – единый вид, остаётся неизвестным, зависит ли способность паразита заражать новых хозяев от вида моллюска, в котором он развивался. Проверить это можно экспериментально, заразив первых промежуточных хозяев яйцами *M. pseudopygmaeus*, полученными от паразитов, развившихся в разных видах моллюсков. Получение таких яиц возможно с помощью культивирования метацеркарий *M. pseudopygmaeus* на питательной среде.

Марит трематод семейства Microphallidae неоднократно пытались выращивать на питательных средах. Подобные эксперименты проводились для шести видов микрофаллид, причем с использованием большого разнообразия сред, добавок к ним, при разных параметрах pH и газовой среды. Результаты этих исследований существенно различались. Для *M. pygmaeus* (Levinsen, 1881) Baer, 1944 удалось получить половозрелых марит и яйца, тогда как у *M. similis* (Jägerskiöld, 1900) Baer, 1944 при сохранении жизнеспособности и формировании яиц их нормального развития не наблюдалось. Для *M. primas* (Jägerskiöld, 1908) Stunkard, 1951 и *M. turgidus* (Leigh, 1958) Belopolskaya, 1963 были получены жизнеспособные яйца, способные обеспечить дальнейшее развитие паразита в первом промежуточном хозяине.

Мы протестировали разные варианты сред и добавок к ним при культивировании *M. pseudopygmaeus* в термостате с атмосферным воздухом. Культивирование проводилось при 38 и 40 °C в течение 5-8 суток, использовались среды IMDM и RPMI-1640, а также две среды с солями Хэнкса, которые позиционируются как CO_2-независимые: среда 199 и среда Игла МЕМ. Ко всем средам добавляли гентамицин, глутамин и фетальную бычью сыворотку. Состояние червей оценивалось путем подсчета подвижных, а также на временных микроскопических препаратах. Серия экспериментов культивирования с атмосферным воздухом показала, что pH среды быстро растёт, при высоких показателях защелачивания (pH – 9) живых червей на средах не оставалось.

Поскольку ни ежедневная смена среды, ни использование CO_2-независимых сред не позволило предотвратить защелачивание, следующим этапом стало культивирование червей в CO_2-инкубаторе. Для этих пилотных экспериментов использовали близкородственный вид *Microphallus pygmaeus* (Levinsen, 1881) Baer, 1944. Были протестированы следующие среды:

199, MEM, IMDM и RPMI-1640 с добавлением гентамицина, глутамина и фетальной бычьей сыворотки. В инкубаторе поддерживалась атмосфера 5% CO_2 и температура 39 ℃. В течение эксперимента черви сохраняли подвижность во всех средах, мы наблюдали развитие мужской и женской половой системы червей, к четвертому дню у *M. pygmaeus* были сформированы яйца. Для культивирования в CO_2-инкубаторе *M. pseudopygmaeus* были соблюдены те же условия. Наибольшее количество подвижных червей оказалось в среде RPMI-1640. Однако половая система *M. pseudopygmaeus* развивалась медленно, и половозрелых червей получить не удалось.

Таким образом, микрофаллиды являются перспективной группой для культивирования, однако результат существенно зависит от условий и вида паразита. Использование CO_2-инкубатора позволило получить яйца у марит *M. pygmaeus*, однако для *M. pseudopygmaeus* этих условий оказалось недостаточно для достижения половой зрелости. В дальнейшем планируется продолжить оптимизацию условий культивирования *M. pseudopygmaeus* для получения половозрелых марит и жизнеспособных яиц, что позволит экспериментально исследовать уникальную специфичность паразита и особенности его взаимоотношений с хозяевами.

Работа поддержана грантом РНФ 25-24-00316.

Особенности формирования численности популяций горбуши в Беломоро-Баренцевоморском регионе

А.Н. Строганов[1]*, Е.В. Пономарева[1], А.И. Никитенко[2], В.А. Беляев[2], М.В. Пономарева[1]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;

[2]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва, Россия.

*E-mail: andrei_str@mail.ru

Работы по исследованию ресурсов морей бассейнов Атлантического, Северного Ледовитого, Тихого океанов первой половины прошлого века сопровождались представлениями о необходимости и возможности управления состоянием рыбных ресурсов с целью повышения показателей рыбопродуктивности. Сокращение биоразнообразия в природных экосистемах является одной из важнейших проблем современности, нашедшей своё отражение в целом ряде международных и национальных документов. Эти проблемы имели непосредственное отношение также и к представляющим стратегически важный генофонд не только на российском, но и на мировом уровнях, диким популяциям атлантического лосося (сёмги) *Salmo salar* (Linnaeus, 1758) бассейнов Баренцева и Белого морей. На фоне снижения демографических показателей естественных популяций атлантического лосося, недоиспользования кормовой базы в Беломоро-Баренцевоморском бассейне, решения социально-экономических проблем региона были обоснованы мероприятия по вселению горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) (Алексеев, Кулачкова, 2000). Работы по интродукции горбуши в России начаты в 1956 г., когда было завезено 3.8 млн шт. икры горбуши с Южного Сахалина на Тайбольский рыбоводный завод Мурманской области с последующим выпуском молоди в Баренцево море. В 1957 и 1958 гг. горбушу выпускали с рыбоводных заводов Кольского п-ова на стадии личинки в апреле – мае под лёд, и возврата от этих выпусков не было. После внесения в технологии определённых изменений в 1960 г. отмечалось естественное воспроизводство горбуши как в реках Кольского п-ова, Карелии, Чешской губы, так и в Норвегии, но по общим оценкам работы по выпускам горбуши в 1959 – 1964 гг. значительного положительного эффекта не дали. Считается это следствием того, что более низкие, неблагоприятные температуры в североевропейских реках, способствовавшие замедлению гаметогенеза, приводили к более позднему началу вителлогенеза ооцитов у самок горбуши и задержке возврата последних на нерест (Кудерский, 2005; Керштейн и др., 2008; Дорофеева, 2009; Рафиков, Захаров, 2019). После внесения серии корректировок был получен достаточно устойчивый эффект натурализации горбуши и формирования самовоспроизводящейся популяции от выпусков в 1985 и 1986 гг. горбуши магаданских популяций, адаптированных, видимо, к более низким температурам воды в пресноводный период жизни. Натурализация горбуши в конце прошлого – начале нынешнего столетия проходила по двум генеративно изолированным линиям четных и нечетных лет. На фоне роста численности натурализовавшейся горбуши и тенденции повышения теплосодержания арктических вод в начале нынешнего столетия происходило расширение ареала интродуцированной горбуши в восточном направлении до р. Кара и Байдарацкой губы Карского моря. Формирование более многочисленных поколений нечетных лет наиболее ярко было отмечено во втором десятилетии текущего столетия, сопровождавшееся ростом объемов вылова горбуши (2017г. – 369.9 т; 2019г. – 414.7 т; 2021г. – 715 т). Однако ситуация, вопреки имевшимся прогнозам, впоследствии резко изменилась. Тенденция роста подходов на нерест сменилась на устойчивое снижение и в последующие годы объемы добычи горбуши в Беломоро-Баренцевоморском регионе резко сократились: 2023г. – 203т; 2025г. – 82.5 т. Естественно, что такая ситуация нуждается в ее пристальном рассмотрении и анализе с целью выработки системы мероприятий. Практика рыбохозяйственной деятельности предусматривает целый комплекс уже показавших свою действенность стратегий. В первую

очередь это действия природоохранного характера, предусматривающие наряду с пресечением несанкционированного вылова, сокращение, либо прекращение на определенные сроки вылова квотируемого тотального, либо имеющего региональный характер. При этом, для повышения темпа восстановительных процессов возможно временное возобновление интродукций посадочного материала горбуши из дальневосточного региона. Другое направление связано с вовлечение горбуши в аквакультурную деятельность. Причем, горбуша в силу своих биологических характеристик с устойчивостью к повышенным температурам, ранним и эффективным переходом молоди на внешнее питание, повышенные темпы роста и полового созревания, представляет собой ценный объект как пастбищной аквакультуры (по получившим широкое развитие дальневосточным методологиям), так и аквакультуры товарной с получением конечной продукции в контролируемых условиях. В соответствии с особенностями развития региональной инфраструктуры, планируемыми объемами производства в области аквакультуры, применяемыми рыбоводными технологиями определяется структура хозяйств, состав и категория, включая объекты капитального и некапитального строительства. Модульные конструкции также могут быть использованы при формировании как нерестово-выростных хозяйств, так и при экономичном, эффективном формировании полноцикловых комплексов с выращиванием товарной продукции в бассейнах, садках, заливах и т. д.

Адаптация световых реакций фотосинтеза к дегидратации и регидратации побегов у нескольких представителей мохообразных, произрастающих в окрестностях мыса Картеш (Белое море)

Е.В. Тютерева[1]*, В.В. Кузнецов[1], Л.Е. Курбатова[1], И.Б. Павлов[1], Т.Ю. Лыкова[1], П.А. Лезин[2], А.В. Муртузова[1]

[1]Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия;
[2]Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.
*E-mail: ETutereva@binran.ru

В природе мхи зачастую подвергаются комплексному стрессу, сочетающему обезвоживание и высокоинтенсивное солнечное облучение. Выживание мхов при этом зависит как от способности клеток к временной консервации всех процессов и структур, связанных с фотосинтетической активностью, так и способности к восстановлению фотосинтетического аппарата в ходе последующей регидратации.

Целью исследования являлось изучение динамики световых реакций фотосинтеза в циклах дегидратации и регидратации гаметофитов двух видов листостебельных мхов, относящихся к контрастным экологическим группам: гигрофитном напочвенном мхе *Rhizomnium punctatum* (Hedw.) T.J.Kop. (Mniaceae) и ксерофитном, растущем на минеральном грунте бриофите *Syntrichia ruralis* (Hedw.) F.Weber & D.Mohr (Pottiaceae). Исследование было выполнено на территории Беломорской биологической станции Зоологического института РАН (Лоухский р-н, респ. Карелия).

Для проведения исследования гаметофиты мха отбирали из природных и переносили в лабораторные условия стационара. В экспериментах использовали кончики побегов 0,5-1 см, отделенные от ризоидов и субстрата. Навески по 50 мг собирали из образцов нескольких дерновинок. Одну часть образцов подвергали 6 ч высушиванию на воздухе на свету или в темноте, а затем проводили 6 ч регидратацию в тех же световых условиях. Другую часть образов поддерживали во влагонасыщенном состоянии путём погружения в воду. Цикл дегидратации – регидратации побегов мха в экспериментах составлял 12 ч. Свет интенсивностью 100 мкмоль/(м^2 с) создавался с помощью светодиодной панели со сбалансированным спектром излучения. Температура воздуха под светодиодной панелью в зоне экспозиции световых образцов и в термостате в зоне экспозиции темновых образцов составляла +22 ± 1 °C. Оводненность гаметофитов определяли весовым методом и выражали в долях от сырой массы. Жизнеспособность гаметофитов при наступлении засухи в темноте и на свету, а также в период регидратации определяли с помощью колориметрического ТТХ-теста. Тест широко применяется для оценки метаболической активности фотосинтезирующих тканей растений по восстановлению 2,3,5-трифенилтетразолия хлористого до формазана, уровень которого коррелирует с активностью дегидрогеназ. Было изучено содержание растворимых сахаров как потенциальных осмолитиков, концентрация которых коррелирует с водоудерживающей способностью клеток, и количество запасной формы углеводов – крахмала, потенциально являющегося источником фракции растворимых сахаров. Полученные биохимические показатели нормировали на абсолютный сухой вес образцов. Состояние фотосинтетического аппарата оценивалось по изменению содержания и соотношения фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, суммарного содержания каротиноидов), изменению параметров кривых быстрой флуоресценции хлорофилла *a* (OJIP, кинетики темновой релаксации), а также спектров низкотемпературной флуоресценции.

Установлено, что потери воды побегами обоих исследуемых видов мхов при 6 ч высушивании составляют порядка 80-90% от исходного сырого веса.

Метаболическая активность кончиков побегов *R. punctatum* согласно данным нитротетразолиевого теста была выше, чем у *S. ruralis.* На свету обнаружена тенденция к

снижению метаболической активности дегидрогеназ после периода регидратации в побегах обоих видов мха. Интерпретация данных затруднительна, возможно, сглаживание различий связано с активностью хлоропластов на свету. В темноте в побегах гигрофита мха *R. punctatum* выявлено статистически достоверное значительное «взрывоподобное» увеличение дегидрогеназной активности в клетках при их оводнении сразу после засухи, напоминающее эффект дыхательного взрыва, снижение которой наблюдалось в побегах после 6 ч регидратации образцов. В клетках же ксерофитного мха *S. ruralis* увеличение метаболической активности после засухи также происходит, но не так масштабно, как у *R. punctatum*.

Содержание пигментов в образцах побегов обоих видов мха, сразу после сбора из естественного места произрастания, достоверно не отличалось. Высушивание исследуемых видов мха на свету и последующая регидратация не приводили к изменению количества пигментов. Цикл де/регидратации в темноте приводил у изучаемых видов к снижению содержания только хлорофилла *a*. Суммарное содержание каротиноидов под действием засухи и последующего оводнения ни на свету, ни в темноте не менялось. В то же время обнаружено изменение формы спектров поглощения экстрактов пигментов и паттернов пиков, что указывает на динамическое изменение содержания индивидуальных каротиноидов хлоропластов.

Достоверных изменений в содержании углеводов в побегах мха в экспериментах по дегидратации не обнаружили. Но обнаружили выраженные тенденции: к увеличению растворимых сахаров (гексоз и альдопентоз) у *S. ruralis* и к накоплению крахмала у *R. punctatum* при дегидратации вне зависимости от наличия света.

Основной эффект 6 ч засухи на фотохимическую активность хлоропластов у обоих видов мха проявлялся в сильном снижении квантового выхода флуоресценции хлорофилла (примерно на 90%), которое было зарегистрировано в виде OJIP-кинетик, что может быть связано с развитием мощного процесса тушения энергии в антенных комплексах, которые энергетически могут быть разобщены с реакционными центрами фотосистемы (ФС) 2. Регидратация приводила к полному восстановлению фотохимической активности хлоропластов *S. ruralis* и лишь частичному – у *R. punctatum*. Об этом, среди прочих описательных метрик OJIP кинетики, свидетельствует динамика потенциального квантового выхода ФС2. Полученные данные указывают на сниженную способность хлоропластов к неферментативным биофизическим и ферментативным биохимическим формам фотопротекции при избытке световой энергии, который предположительно возникает даже на фоне относительно низкой освещенности при обезвоживании хлоропласта в связи с ингибированием ферментов цикла Кальвина-Бенсона и нарушением оттока электронов с электрон-транспортной цепи. Двойная нормализация OJIP кинетики сухих образцов на Fo и Fp выявила сохранение транспорта электронов через ФС2 в сухих побегах *R. punctatum* и блокирование переноса в пределах ФС2 в сухих побегах *S. ruralis*. Анализ спектров низкотемпературной флуоресценции помимо косвенных признаков значительных различий пигмент-белкового состава антенны ФС1 у исследуемых видов мха, указывает на высокую способность хлоропластов *S. ruralis* к тушению флуоресценции в ФС2 и/или в ассоциированном с ней главном светособирающем комплексе, по сравнению с хлоропластами *R. punctatum*.

Исследование вносит вклад в изучение механизмов засухоустойчивости мохообразных, в частности, зависимости способности к переживанию периодов обезвоживания от фактора света у разных экологических групп мхов. В работе использовали оборудование ЦКП «Клеточные и молекулярные технологии изучения растений и грибов» Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург). Авторы выражают свою признательность руководству Беломорской Биологической станции ЗИН РАН за предоставленную возможность провести исследования на базе стационара. Работа выполнена при поддержке госзадания БИН РАН № 123022200048-0.

Исследование коррозионной стойкости аддитивно-полученных сталей и сплавов в условиях Белого моря

Т.В. Углунц[1,2]*, В.В. Халаман[3], А.М. Вильданов[1], Е.В. Земляков[1], Т.А Углунц[2], О.Г. Климова-Корсмик[1]

[1]Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия;

[2] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия;

[3]Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.

*E-mail: tuglunts@mail.ru

Аддитивные технологии находят всё более широкое применение в судостроении и морской технике, однако поведение аддитивно-полученных материалов в реальных морских условиях остаётся недостаточно изученным. Особую актуальность представляет оценка коррозионной стойкости с учётом биологического фактора — обрастания и биокоррозии. В данной работе в качестве объектов исследования использованы образцы сталей 03Х22Н6М2 и 12Х18Н10Т, а также титанового сплава ПТ3В, полученных методом прямого лазерного выращивания. Образцы экспонировались в морской воде на глубине 1 метр в период с 29 мая по 9 сентября 2025 года. По завершении экспозиции был проведён анализ коррозионных поражений, а также анализ видового состава оброста и его влияния на развитие коррозионных процессов.
Установлено, что для исследованных сталей наиболее распространённым видом коррозионного поражения является щелевая коррозия, локализованная в местах прикрепления усоногих раков *Balanus crenatus*. Формирование щелевых зон под основаниями раков создаёт условия для развития локальных коррозионных процессов. Другие представители макрообрастания *Mytilus edulis, Molgula citrina, Electra pilosa* не оказали существенного влияния на биокоррозию образцов. Титановый сплав ПТ3В, обладающий высокой коррозионной стойкостью в морской воде, не проявлял признаков коррозионного поражения в течение периода экспозиции.
Так же проведены сравнительные испытания сталей, полученных методом горячего проката и методом ПЛВ с последующей термообработкой на стойкость к биокоррозии в условиях Белого моря. Доказано, что после специальной ТО стали полученные ПЛВ не уступают, а иногда и превосходят по коррозионной стойкости горячекатаные стали. Для стали 12Х18Н10Т ПЛВ+ТО скорость коррозии составила 0,011 г/м^{2}сут против 0,036 г/м^{2}сут для горячекатаной. Для стали 03Х22Н6М2 скорость коррозии не зависимо от состояния и метода изготовления не превышала 0,0035 г/м^{2}сут, что на порядок ниже, чем для стали 12Х8Н10Т. Коррозионные поражения носили поверхностный характер, а их распространение в глубину было затруднено особенностями структуры стали.

Исследования проводились совместно с Беломорской биологической станцией Зоологического института РАН на мысе Картеш. Исследование было проведено при финансовой поддержке программы стратегического академического лидерства "Приоритет-2030", соглашение № 075-15-2026-078 "Цифровые промышленные технологии".

Зоопланктон Унской губы: между рекой и морем

Н.В. Усов
Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.
E-mail: Nikolay.Usov@zin.ru

Унская губа, расположенная в Двинском заливе Белого моря, входит в состав Национального парка Онежское Поморье, особо охраняемой природной территории федерального значения. Кроме того, Унская губа является одним из ключевых районов промысла наваги в Белом море (Пастухов, 2010). Все это придает особую значимость гидробиологическим исследованиям на данной акватории, которых в пелагиали Унской губы до сих пор не проводили. Также существует крайне мало гидрологических исследований Унской губы (Чугайнова, 2007; Климовский, 2010).

Унская губа представляет собой обширные мелководья (ок. 150 км^2), соединенные с морем узким проливом, более глубоким, чем основная часть губы. В губу впадает несколько рек и ручьев, самыми крупными из которых являются реки Уна, Луда, Бабья, Вежма, Кумжевая, Кинжуга. В проливе, соединяющем акваторию губы с морем, в результате взаимодействия пресноводного стока и приливных течений формируется сложная гидрологическая обстановка. Распределение и динамика зоопланктона в столь сложных условиях представляет особый интерес.

Цель данной работы – выявить факторы среды, определяющие состав и распределение мезозоопланктона вдоль входного желоба Унской губы в конце гидрологической весны и летом. Для этого предполагается выявить связь распределения зоопланктона с градиентами параметров среды между открытым морем и внутренней частью губы. Кроме того, мы предполагаем проследить, как изменяются сообщество зоопланктона и параметры среды в течение весенне-летнего периода, поскольку наблюдения в разные годы проводили в различные даты с середины июня по начало августа.

Отбор проб зоопланктона и измерения параметров среды проводили в ходе пяти экспедиций в Унскую губу: 19 – 20 июня 2022 г., 17 – 18 июля 2023 г., 1 – 2 июля 2024 г., 3 – 4 августа 2025 г. и 12 июня 2026 г. Работы выполняли с судна «Профессор Владимир Кузнецов» на трех точках, расположенных в проливе, соединяющем основной объем губы с открытым морем, на разном удалении от последнего (У-1 расположена в море у входа в губу, У-3 – во внутренней части губы). В 2026 г. работы выполнены только на промежуточной станции У-2, на малой и полной воде. Пробы зоопланктона отбирали малой сетью Джеди (диаметр входного отверстия 25 см, ячея фильтрующего сита 100 мкм) в слое 0-5 м в двух повторностях. Параллельно во всех экспедициях измеряли вертикальные профили температуры и солености воды. Вертикальные профили концентрации хлорофилла а измеряли в 2022 – 2025 гг., профили мутности и растворенного органического вещества – в 2022 – 2024 гг. Поскольку пробы отбирали в разное время суток, учитывали также данный фактор.

Непараметрический анализ Краскела-Уоллеса показал, что различия мутности, температуры и солености между точками достоверны, причем, определяются они, в первую очередь, различиями между ст. У-1 и У-3 (Kruskal-Wallis ANOVA $H > 6.9$, $p < 0.05$). Только концентрация хлорофилла а не демонстрировала явного градиента.

Однако анализ изменения параметров среды в течение сезона показал, что только концентрация хлорофилла а достоверно различается между разными датами (Kruskal-Wallis ANOVA $H = 11.33$ $p = 0.01$). Действительно, самые ранние измерения были сделаны в июне, во время весенне-летнего цветения фитопланктона, а самые поздние экспедиции проходили уже после цветения, в начале августа.

Мезозоопланктон в Унской губе представлен обычными для Белого моря группами организмов. При этом по обилию и видовому богатству лидирует класс Copepoda (не менее 50% суммарной численности зоопланктона, максимум – 96%), представители которого присутствовали на всех

станциях. Наиболее многочисленным видом, особенно в точке У-1, был эврибионт *Oithona similis* (до 43000 экз./м^3; в среднем 4360 экз./м^3). Вторым по численности таксоном были представители бореального рода *Acartia* (до 23000 экз./м^3; в среднем 3900 экз./м^3). Причем доминировала, по всей видимости, *A. bifilosa*, половозрелые особи которой были более многочисленны, чем особи *A. longiremis*, на всех станциях, кроме У-1 и У-2 в июне 2022 г. Самые высокие численности *Acartia* отмечены на внутренних точках У-2 и У-3. На всех станциях в планктоне присутствовали *Centropages hamatus* и *Microsetella norvegica* (Copepoda), а также личинки Cirripedia и Gastropoda, однако их численность изменялась на несколько порядков как от года к году, так и между разными точками. Следует отметить, что состав зоопланктона в точке У-2 зависел от фазы прилива: на полной воде доминировала *Oithona similis*, на малой воде – виды рода *Acartia*.

Мы рассмотрели также сходство сообщества на разных станциях с использованием индекса Брея-Кертиса (метод ANOSIM пакета PRIMER), а также связь сходства с различными факторами среды. Обнаружили, что влияют только место отбора проб (global R = 0.36, p = 0.01) и время отбора (global R = 0.21, p = 0.05). То есть сообщество в разных точках и в разное время суток достоверно различается. В целом, нам не удалось проследить значимых изменений сообщества в течение изученного периода года. При этом структура сообщества в точке У-1 в разные годы различается меньше, чем в других точках – вероятно, открытое море оказывает некое стабилизирующее влияние. Иерархический кластерный анализ показал, что на уровне сходства 30% выделяются два кластера, соответствующие двум группам станций – в точке У-1 и в точке У-2 на полной воде и в точках У-2 на малой воде (и других фазах прилива) и У-3. То есть в устьевой части Унской губы выделяются два сообщества, формирующиеся под влиянием открытого моря и под воздействием материкового стока.

- Основными факторами, определяющими изменчивость сообщества мезозоопланктона в Унской губе, по крайней мере в летний период, являются соленость и температура воды. И определяют данные факторы именно пространственную изменчивость, так как пределы их изменений в пространстве превышают изменчивость во времени.
- В устьевой части Унской губы можно выделить два сообщества мезозоопланктона – условно морское с доминированием эврибионтного океанического вида *Oithona similis* и условно солоноватоводное, в котором доминируют бореальные *Acartia bifilosa, Microsetella norvegica, Synchaeta* sp., и личинки донных организмов.

Работа выполнена при поддержке гос. задания № 125012800889-2 (Структура, биоразнообразие и функционирование экосистем морей Арктического бассейна в условиях меняющегося климата).

Выживая в приливно-отливной зоне: температурно-соленостная пластичность церкарий *Himasthla elongata* в Белом море

Д.Д. Федоров[1]*, К.Е. Николаев[1], И.А. Левакин[1], К.В. Галактионов[1,2]

[1]*Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия.*

[2]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

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

Морские литоральные организмы подвержены воздействию широкого спектра абиотических факторов, изменяющихся в течение приливного цикла, и адаптированы к их резкой смене. Свободноживущие личинки паразитов, трансмиссия которых происходит в прибрежных экосистемах, также должны обладать сходной толерантностью к этим колебаниям. Выживаемость и инвазионная способность этих личинок в значительной мере зависят от температуры и солености воды, что, в свою очередь, определяет успех их трансмиссии. Однако основная масса исследований сосредоточена на изучении влияния либо солености, либо температуры на отдельные аспекты биологии церкарий морских трематод. Вместе с тем в естественных условиях эти факторы действуют одновременно и могут взаимодействовать.

В настоящем исследовании нами было оценено совместное влияние температуры и солености воды на инвазионную способность церкарий *Himasthla elongata* (Mehlis, 1831) Dietz, 1909 (Himasthlidae) по отношению ко второму промежуточному хозяину *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758. Исследование проводили на Беломорской биологической станции ЗИН РАН «Картеш». Эксперименты выполняли при температурах от 5 до 25 °C (с шагом 5 °C) и солености в диапазоне от 8 до 36 ‰ (с шагом 4 ‰). Всего было заражено 609 мидий с размером раковины 15.5–26.8 мм (по 10–15 особей на каждую комбинацию факторов). Акклимация мидий *M. edulis* к заданным условиям составляла 48 ч, церкарий *H. elongata* — 1 ч. После акклимации к каждой мидии добавляли по 20 церкарий и совместно инкубировали в течение 24 ч. Затем мидий вскрывали и подсчитывали количество успешно инцистировавшихся церкарий в их мягких тканях.

Заражение мидий церкариями *H. elongata* не происходило при 5 °C и всех тестированных соленостях, при 8 ‰ и всех тестированных температурах, а также при сочетании температуры 10 °C и солености 10 ‰. Температура и соленость, и их взаимодействие, значимо влияли на количество инцистировавшихся церкарий в мидиях (GAM, объясненная девианса 47.9%, $p < 0.0001$ для всех предикторов). При всех температурах инвазионная способность церкарий *H. elongata* сохранялась в широком диапазоне солености: при 10 и 15 °C — от 12 до 32 ‰; при 20 °C — от 10 до 32 ‰; при 25 °C — от 14 до 34 ‰. Однако оптимальные условия для заражения более узкие: температура 15–25 °C и соленость 12–30 ‰. Это, вероятно, отражает адаптацию *H. elongata* к трансмиссии в условиях, характерных для морей умеренных широт и Субарктики. Будучи мелкими (>1 мм) и короткоживущими организмами, эти личинки должны быстро реагировать на изменения параметров среды, для успешной трансмиссии. Прогнозируемые климатические изменения — повышение температуры и понижение солености, особенно выраженные в Арктике и Субарктике, — не выходят за пределы толерантного диапазона инвазионной способности церкарий *H. elongata* обнаруженного нами. В то же время повышение температуры может способствовать усилению инвазионного потенциала личинок и расширить благоприятное окно трансмиссии, которое, согласно полевым данным, в настоящее время составляет около одного месяца. Это может привести к увеличению паразитарной нагрузки, создаваемой *H. elongata* в акватории Белого моря, однако для более строгого обоснования требуются дополнительные исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 23-14-00329-П и темы Гос. задания № 125012800903-5

Репрезентативность данных при мониторинге макробентоса сублиторали Белого моря: роль числа проб и методов обработки данных

Н.А. Филиппова*, А.В. Герасимова, М.А. Тимофеева, М.А. Бабин, В.В. Козин

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

*E-mail: n.a.filippova@spbu.ru

Исследование структуры сообществ макробентоса сублиторали Белого моря актуально в связи с климатическими изменениями и антропогенным давлением на арктические экосистемы. Губа Чупа, крупнейший эстуарий Кандалакшского залива, благодаря особенностям гидрологического режима служит модельным водоёмом для изучения арктических эстуарных экосистем. Макробентос, как индикатор состояния донных биоценозов, позволяет отслеживать естественную и антропогенную динамику, однако достоверность результатов зависит от методов пробоотбора и обработки данных, что особенно важно для сублиторали — зоны, менее изученной по сравнению с литоралью. Ранее проведённый сравнительный анализ изменений структуры макробентоса за 35-летний период показал отсутствие серьёзных смещений в состоянии донной биоты, что позволило рассматривать современное состояние как близкое к долговременной норме. Накопленный большой объём данных дал возможность оценить влияние количества проб и методов преобразования данных на результаты анализа структуры сообществ.

Материал собран в летние сезоны 2021–2023 годов в сублиторали губы Чупа (глубины 10–40 м) с помощью дночерпателя Ван-Вина (0.025 м^2, 5–6 проб на станцию). На всех станциях оценивали видовой состав, численность и биомассу макробентоса.

Изучение сходства показателей обилия макробентоса проведено с использованием кластерного анализа (Коэффициент Брея-Кертиса, метод среднего соседа). Отдельные кластеры выделяли с помощью процедуры SIMPROF (Clarke et al., 2008). Чтобы оценить, как различные виды преобразования данных влияют на сходство описаний по численности и биомассе макробентоса, матрицы сходства, полученные на основе биомассы и численности, сравнивали между собой с помощью теста Мантеля. Такие сравнения проводились для абсолютных значений показателей обилия, для стандартизированных значений и для трансформированных значений.

Исследование влияния количества проб на результаты сравнения станций (матриц сходства Брея-Кертиса) также проводили с помощью теста Мантеля и дисперсионного анализа. Влияние количества проб оценивали путём сравнения матриц сходства, построенных по случайным подвыборкам (от 1 до 4 проб), с эталонной матрицей из всех пяти проб; необходимый объём выборки определяли по критерию стабилизации (достижение 95% максимальной корреляции Мантеля). Расчёты выполнены в программах R studio, PAST 5 и Primer v. 6.

Всего обнаружено 134 таксона, из которых лишь один вид (полихета *Leitoscoloplos acutus)* встречался на всех станциях. Наименьшее видовое богатство составило 33 таксона, максимальное —78 таксонов. Структурные характеристики сообществ соответствовали данным для других районов Белого моря, что указывает на широкую применимость полученных рекомендаций.

Разные единицы измерения могут влиять на матрицы сходства (что показывает низкое значение коэффициента корреляции при сравнении абсолютных значений биомассы и численности организмов, r=0,53). Абсолютные значения могут быть чувствительны к экстремальным величинам, которые стандартизация и трансформация смягчают. Стандартизация (в данном случае в долях от общей суммы) убирает различия в масштабах между биомассой и численностью, и позволяет анализировать именно структуру данных,

которая оказывается похожей для обоих показателей (r=0,83). А трансформация исходных данных приводит к тому, что различия между биомассой и численностью практически сгладились (r=0,92)

Описанные выше характеристики сообществ были получены на основании 5-и проб. Для литорали было показано, что для получения надежных результатов классификации описаний сообществ достаточно 5-10 повторностей, в зависимости от цели исследования (Filippova et al., 2019). При изучении сублиторали увеличение числа проб – довольно сложная задача, в связи с тем, что в данных условиях сбор материала представляет гораздо более трудоемкий процесс. Однако неясно, насколько сокращение количества проб искажает картину распределения бентоса. Поэтому мы решили проверить, насколько 5-и кратная повторность достаточна для получения надежных результатов о сравнении сообществ. Результаты показали, что с увеличением числа проб сходство с эталоном растет: 1 проба – корреляция Мантеля составила около 0,5, 2 пробы – 0,7, 3 пробы – >0,8, 4 пробы – >0,9. Критерий стабилизации показал, что четырёх проб достаточно для достоверного сравнения станций по любому показателю. Низкая корреляция при малом числе проб связана с неравномерным распределением видов: 61 вид из 134 встречался лишь в одной пробе из пяти, 60 видов — в 1–3 пробах, и только 13 видов — более чем в трёх пробах. Для сравнения, в литоральных исследованиях распределение видов было более равномерным, что снижает требования к числу проб. При этом различия между сублиторальными станциями выражены сильнее, чем между литоральными (лишь один общий вид против десяти в литорали), поэтому сублиторальные различия определяются легче, несмотря на большую пространственную неоднородность.

Двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил значимое влияние как типа данных ($p = 0,0001$), так и числа повторностей ($p < 0,0001$). Однако визуально кривые зависимости необходимого числа проб и типа данных (стандартизированные или трансформированные показатели обилия) почти не различались, и значимость различий, по-видимому, связана с большим объёмом выборки. В отличие от литоральных данных, где трансформация требовала меньшего числа проб, чем стандартизация, в сублиторали такая закономерность не выявлена.

Таким образом, методологически работа показала, что, несмотря на более высокую мозаичность и неоднородность сублиторальных сообществ по сравнению с литоральными, оптимальный объём выборки для них сопоставим: четыре пробы для сублиторали против пяти–десяти для литорали. Это имеет практическое значение для планирования мониторинговых исследований в арктических эстуарных экосистемах.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 23-24-00204, https://rscf.ru/project/23-24-00204/

Нерестилища беломорской сельди в губе Чупа и близлежащих акваторий

Г.В. Фукс*, Р.А. Мельник
Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Архангельск, Россия.
*E-mail: fuks@severniro.vniro.ru

Беломорская сельдь *Clupea pallasii marisalbi* (Knipowitsch, 1926) входит в число наиболее значимых промысловых видов Белого моря, ее запас составляет около 9-12 тыс. т. Изучение ее жизненного цикла на всех этапах развития является важным аспектом биологии вида.

Нерест сельди в Кандалакшском заливе проходит во многих губах в прибрежных участках. Субстратом служат в большинстве случаев подводные растения (в основном фукоиды), сельдь может откладывать икру на камни в случае мощных нерестовых подходов. Глубина засева икры в большинстве случаев до 3 м.

Губа Чупа является одним из основных нерестилищ беломорской сельди в Кандалакшском заливе. Нерест происходит подо льдом в апреле на многих участках от кутовой части до м. Картеш. Во второй половине прошлого столетия основными участками нерестилищ были кутовая часть, район пос. Чкаловский и м. Левин Наволок. Опубликованных работ по распределению икры сельди крайне мало.

В период проведения работ с 2014 по 2025 гг. исследованы береговые участки губы Чупа, губы Левая, Иванькова, Медвежья, Лебяжья, побережья проливов Сухая Салма, Средняя Салма, Большой Керетский рейд, побережья от Сухой скалы по южному берегу до о-ва Бол. Андронин, а также некоторых островов. Работы проводились ежегодно, кроме 2020 г.

Поиск и оконтуривание нерестилищ проходил с использованием надувной моторной лодки примерно за 2 часа до и после максимального отлива. В «пол воды» и во время прилива икру на субстрате видно с трудом (особенно при волнении моря) и можно получить некорректные данные по длине и ширине нерестилища и оценке количества отложенной икры. Основное внимание уделялось историческим местам нереста. В случае обнаружения икры, с помощью GPS навигатора на литорали фиксировались точки начала и конца участков с икрой. Таким способом ежегодно осматривается около 100 км побережий. Диапазон проведения работ за все годы 10 – 30 мая, если брать отдельный год, то поиск и оконтуривание икры занимает около 2 недель. Самая поздняя икра в стадии глазка была обнаружена 4-го июня 2024 г., это был самый холодный год за весь период наблюдений. Необходимо отметить, что в этот период наблюдения проходят за икрой егорьевской сельди, нерестящейся в апреле. Однако, в конце мая – начале июня на акваториях в районе м. Картеш нерестится более крупная ивановская сельдь. Различить икру двух популяций несложно. У егорьевского стада, эмбрионы имеют стадию глазка (черного или серебряного), у ивановской сельди жизнеспособная икра в это время чистая и прозрачная.

Длина засева может быть от нескольких метров до нескольких километров. Ширина примерно до 10 м, все зависит от крутизны или пологости берега. Бывает, икра находится на фукоидах, которые крепятся к скальным породам на резком свале глубины, например, у о. Катков или Отвалах в районе пос. Чкаловский. В большинстве случаев берег пологий с широкой полосой засева. Отмечается процент засева на литорали и сублиторали, а также количество живой и мертвой икры.

За указанный период работ наиболее часто беломорская сельдь нерестилась в кутовой части губы Чупа, причем участки засева доходили до Красной скалы; на м. Левин Наволок, м. Толстик и в Сельдяной губе. Единичные участки с нерестилищами отмечены в гб. Медвежья, Лебяжья, Иванькова. Икра отсутствовала на побережьях в районе д. Пулонга, Средняя Салма, Большой Керетский рейд, побережья от Сухой скалы (напротив м. Картеш) по южному берегу до о-ва Бол. Андронин.

Таким образом, за проведенный период исследований в губе Чупа и близлежащих акваториях отмечено около 15 нерестовых участков беломорской сельди. Каких-либо закономерностей предпочтений выбора участков нереста за 11 лет не выявлено. Каждый следующий год

неизвестно на каком участке произойдет засев икрой. Количество участков нереста в год находилось в диапазоне от 2 до 9. При этом площадь засева на 2-х участках может быть больше, чем на 9-ти. Например, на южном или северном берегах от о. Бол. Олений на восток длина нерестилища доходила до 6-ти км. Также большое значение имеет мощность нерестового стада сельди в тот или иной год. Плотность засева варьировала от 5 до 500 тыс. и более икринок на $м^2$. Из субстратов предпочтителен *Fucus vesiculosus*. Например, при наличии на нерестилище *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* при соотношении 1:10, икра обнаружена на первом, с плотностью засева до 500 тыс. икринок, а на втором икры нет. Кроме этого часто икра встречается на камнях. На зостере засев икрой, крайне редок.

Обрастания в Кандалакшском и Онежском заливах Белого моря. Почему они разные

В.В. Халаман[1]*, А.Ю. Комендантов[1], Т.А. Михайлова[2], С.С. Малавенда[3], П.А. Манойлина[1], С.В. Разновская[4]

[1]Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия;
[2]Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия;
[3]Мурманский арктический университет, Мурманск, Россия;
[4]Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия.
*E-mail Vyacheslav.Khalaman@zin.ru

Известно, что сукцессия мелководных сообществ обрастания в морях умеренной зоны и некоторых тропических морях часто приводит к формированию многолетних мидиевых поселений (Scheer, 1945; Dean, Hurd, 1980; Okamura, 1986; Ardizzone et al., 1989; Henschel et al., 1990; Bacchiocchi, Airoldi, 2003; Greene, Grizzle, 2007; Dziubińska, Szaniawska, 2010; Gori Sahu et al., 2011). Такой сценарий развития обрастания характерен в том числе и для Кандалакшского залива Белого моря (Перцов, 1974; Ошурков, 1985; Khalaman, 2013). Вместе с тем, исследования, проведенные в Онежском заливе Белого моря, не содержат упоминаний о мидиевых обрастаниях. Указаны сообщества, образованные гидроидами (Зевина, 1963), бурыми водорослями (Михайлова, 2006), а также многоярусные обрастания на мертвых раковинах двустворчатых моллюсков, сформированные усоногими раками, асцидиями и водорослями (Yakovis et al., 2008). *Mytilus edulis* в Онежском заливе Белого моря, тем не менее, присутствует, образуя как локальные литоральные, так и сублиторальные поселения (Голиков и др., 1985; Луканин, 1985; Чикина и др., 2020). Поиск ответа на вопрос, почему мидии в Онежском заливе не являются руководящей формой в сообществах обрастания – цель настоящего исследования. Рассматривались следующие гипотезы:

1. Организмы, формирующие многолетние сообщества обрастания в Онежском заливе, более конкурентоспособны, чем мидии.
2. Гидрологические условия в Онежском заливе не подходят для успешного существования и роста мидий на искусственных субстратах.
3. Мидии в Онежском заливе слабо представлены в естественных донных сообществах и неспособны создать пул личинок, достаточный для массовой колонизации искусственных субстратов.

Для проверки выдвинутых гипотез был проведен следующий полевой эксперимент. В Печаковской салме Соловецкого архипелага (Онежский залив Белого моря) (N 64° 58.93′; E 035° 42.87′) и в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря (N 66° 20.12′; E 033° 37.37′) в июле 2015 г. были выставлены донные стенды, на которых вертикально подвесили искусственные субстраты, представляющие собой ленты капроновой дели шириной 0.3 м и длиной 2 м с грузом на конце. Верхняя часть субстрата по малой воде находилась на глубине около 1.0 м. Через год, в июле 2016 г., часть субстратов со сформировавшимся обрастанием из Кандалакшского залива была перевезена в Онежский залив, где была размещена на имевшихся там стендах. Часть субстратов, изначально экспонировавшихся в Онежском заливе, аналогичным образом перенесли в Кандалакшский залив. Изъятие, перевозка и постановка субстратов в один конец занимали не более суток. Субстраты с обрастаниями перевозили на НИС «Профессор Владимир Кузнецов» в индивидуальных емкостях при постоянной смене забортной воды и аэрировании. В 2016 и 2017 гг. с субстратов как изначально стоявших в своих локациях, так и перемещенных было взято по 9 проб: 18 проб в 2016 г. и соответственно 36 – в 2017 г. Каждая проба представляла собой отрезок дели длиной 0.1 м со всеми населяющими субстрат организмами.

После первого года экспозиции в Онежском заливе на субстратах сформировалось сообщество, в котором доминировала бурая водоросль *Saccharina latissima*, на нее пришлось

около 41% всей биомассы оброста. Субдоминантами были красная водоросль *Polyisphonia stricta* (9.7%), гидроид *Obelia longissima* (18.9%) и одиночная асцидия *Molgula retortiformis* (8.7%). Доля мидий в массе оброста составляла всего 1.5%. Через два года на субстратах в Онежском заливе на мидий пришлось всего 5.2%, а степень доминирования *S. latissima* увеличилась до 72.7%. Из прикрепленных животных наиболее обильно была представлена асцидия *M. retortiformis*, на которую пришлось 19.3% массы всего оброста. Средняя масса обрастания увеличилась с 10±1.9 г/м в 2016 г. до 450±79 г/м в 2017 г. Необходимо отметить, что обрастание в Онежском заливе можно характеризовать как водорослевое не только по массе, но и по видовому богатству: в 2016 г. здесь было отмечено 35, а в 2017 г. – 41 вид водорослей. В то же время на субстратах, экспонировавшихся в Кандалакшском заливе, было обнаружено соответственно только 7 и 12 видов макрофитов, и на их долю приходилось менее 1% массы оброста. В обрастании субстратов в Кандалакшском заливе доминировала мидия *Mytilus edulis*. На долю этого вида в 2016 г. приходилось 99%, а в 2017 г. – 96% массы всех обрастателей. Из-за осыпания с субстратов части мидий в 2017 г. роста биомассы обрастания здесь отмечено не было: в 2016 г. биомасса сообщества составила 276±33 г/м, а в 2017 – 243±31 г/м. Таким образом, на искусственных субстратах в Кандалакшском заливе, как и ожидалось, сформировалось мидиевое сообщество обрастания.

На субстратах, перенесенных в 2016 г. из Кандалакшского залива в Онежский, в 2017 г. зафиксировано сообщество, в котором доминирующие позиции сохраняла мидия. Ее доля в общей массе оброста составляла 97%, тогда как биомасса всего обрастания – 550±40 г/м. Сравнение размерных структур поселений мидий, перенесенных в Онежский залив и оставшихся в Кандалакшском, позволяет говорить о том, что рост мидий в Онежском заливе был даже более интенсивным, чем в Кандалакшском. Примечательно, что субстраты, перемещенные в обратном направлении – из Онежского залива в Кандалакшский, успешно заселила мидия и доля *M. edulis* на них в 2017 г. составляла 79% от всей массы оброста. На *S. latissima* приходилось только 0.5%, а из водорослей, сохранивших заметное присутствие в сообществе, можно отметить *P. stricta* (4.6%) и *Desmarestia aculeata* (2.2%). Вместе с тем, количество видов водорослей, зарегистрированных на перемещенных в Кандалакшский залив субстратах, оставалось весьма высоким – 34. Доля *M. retortiformis* в общей массе оброста была незначительной – всего 1.4%, а общая биомасса обрастания составляла 63±4 г/м.

Результаты нашего полевого эксперимента позволяют заключить следующее. 1. *Mytilus edulis* – вид, способный успешно конкурировать с организмами – обрастателями, характерными для мелководий Онежского залива. 2. Гидрологические условия Онежского залива не препятствуют успешному существованию и росту мидий на искусственных субстратах. 3. Естественные поселения мидий в Онежском заливе, в отличие от Кандалакшского, по всей видимости, не создают пула личинок, который мог бы обеспечить массовое заселение мидиями антропогенных субстратов и приводить к доминированию этого вида в сообществах обрастания. Данная ситуация сходна с той, которая известна для обрастания нефтяных платформ, находящихся на большом удалении от прибрежных мелководий, а, следовательно, и от мидиевых поселений. Мидии в обрастаниях таких конструкций не доминируют (Bram et al., 2005).

Таким образом, сообщества обрастания заливов Белого моря отличаются друг от друга по той причине, что мидия в донных сообществах Онежского залива, в отличие от Кандалакшского, представлена слабо. Сообщества обрастания субстратов, внесенных в воду, оказываются аналогами характерных для данной акватории донных сообществ твердых грунтов. Для Онежского залива это, преимущественно водорослевые сообщества.

Работа выполнена в рамках гос. задания № 125012800889-2.

Страницы истории ББС МГУ имени Н.А. Перцова
и современная модель развития станции

А.Б. Цетлин
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия.
*****E-mail tzetlinab@my.msu.ru

Беломорская биостанция МГУ в Великой Салме Белого моря возникла в 1938 году как маленький полевой стационар кафедры зоологии беспозвоночных. Начиная с середины 50х годов прошлого века, с того момента как ее директором становится Н.А. Перцов, ББС МГУ шаг за шагом превращается в мощную биостанцию, ориентированную прежде всего на специализированные кафедральные практики и на выполнение научных исследований в первую очередь в рамках дипломных и аспирантских работ. Спустя 10 лет, в середине 60-х годов, станция уже принимает практики десятка кафедр с трех – четырех факультетов, а число ежегодных посетителей переваливает за 250. В 70-е годы прибавляются крупные хоздоговорные работы и «поточные» практики первокурсников. Число ежегодных посетителей приближается к 800. Такая модель развития (кстати сказать, уникальная для морских станций в Европейских странах и в США, в то время) предполагала очень интенсивное «на пределе» использование ресурсов станции, что приводило к их истощению, а также к перенаселению станции, что в свою очередь приводило к периодическому «отпочковыванию» от станции научных групп, которые основывали новые стационары в ближайших окрестностях станции. Срок жизни таких стационаров – «почек» мог быть небольшим, но может превышать 50 лет. Существенным недостатком этой модели является отставание инфраструктуры станции от ее реальных потребностей. В этом отношении интересным аспектом жизни ББС МГУ являются благотворительные проекты, которые сопровождают почти всю ее историю. Начиная с 2007 года и вплоть до Ковидного времени на ББС МГУ ежегодно проходили международные школы для молодых ученых по самым разным тематикам, связанным с морской биологией, физиологии, молекулярной биологии и т.п. существенно изменившие научный ландшафт станции. Сейчас их нет, но их место занимают новые образовательные программы факультетов: количество студенческих полевых практик разных кафедр ежегодно прирастает на одну – две. Сезон летних полевых практик на биостанции начинается в начале июня и заканчивается в середине сентября. Тематика научных исследований небольшой научной группы станции охватывает широкий круг научных проблем от традиционных исследований биологического разнообразия Белого моря и морей Арктического бассейна и исследований функциональной структуры биоты Белого моря, до вопросов регуляции процессов регенерации у губок на уровне экспрессии генов или регуляции процесса минерализации спикульного и радулярного аппаратов моллюсков. Не менее значимыми являются работы по развитию современных методов мониторинга биологического разнообразия арктических морских экосистем. А сама ББС МГУ накануне своего 90-летия традиционно страдает от ветхой инфраструктуры, совершенно не соответствующей потребностям биостанции, которую посещает уже более 1000 человек в год. Вопрос в том, когда состояние инфраструктуры биостанции станет критическим для ее существования?

Макробентос лагун Белого моря

К.Н. Цуканова[1]*, М.В. Иванов[1], Н.В. Полякова[2]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

[2] Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН, Москва, Россия.

*E-mail: tsukanovaksenia03@gmail.com

Прибрежные лагуны представляют собой полузамкнутые акватории, формирующие переходную зону между морскими и пресноводными экосистемами. Их главная отличительная черта — наличие порога, который отделяет водоём от моря, но не прекращает водообмен с ним полностью. Для лагун характерны мелководность и резкие физико-химические градиенты в ограниченной площади. На Белом море активное гляциоизостатическое поднятие берегов в сочетании со сложной геоморфологией дна и изрезанностью береговой линии приводит к постепенному отделению морских заливов. Большинство предшествующих работ в этом районе было сосредоточено на меромиктических озёрах, одним из возможных финальных этапов отделения, в которых формируется устойчивая плотностная стратификация вод. Лагуны, напротив, представляют более раннюю стадию и до сих пор остаются менее изученными. Несмотря на сохраняющуюся связь с морем, они уже демонстрируют изменённый гидрологический режим, в частности сниженную приливную амплитуду. Наряду с естественными геологическими причинами, возникновение лагун часто связано с хозяйственной деятельностью: возведением дамб, дорожных насыпей, приливных электростанций, что нередко сопровождается негативными изменениями в абиотических и биотических условиях водоёма. До настоящего времени в Белом море отсутствовали длительные ряды наблюдений за лагунными водоёмами, что не позволяло оценить, насколько устойчивы обнаруженные ранее структурные перестройки донных сообществ и подвержены ли они обратному развитию под действием климатических и гидрологических факторов. Исходя из этого, задача настоящей работы состоит в том, чтобы провести сравнительный анализ межгодовых изменений бентосных сообществ лагун с разной степенью изоляции от моря.

Материал собирали в Кандалакшском заливе Белого моря на акваториях губ Чупа, Кив, Воронья, Кислая и в районе пролива Великая Салма. На подготовительном этапе для каждой лагуны, используя нивелир, определили высоту порога по отношению к нулевой отметке глубин. Это позволило расположить водоёмы в порядке возрастания отчленённости от моря. Для последующего анализа отобрали семь лагун, сходных по размерам и морфометрии, но различающихся по интенсивности водообмена: от практически свободного до эпизодического, когда морская вода поступает лишь во время нагонов и штормов. Отбор проб осуществляли в летние сезоны 2024–2026 годов (июнь и август). На каждой станции проводили количественный сбор макробентоса, отбор проб донных осадков и измерение основных гидрологических параметров.

У большей части обследованных лагун зафиксирована гомотермия и активное вертикальное перемешивание водной толщи. Исключением стали два наиболее изолированных водоёма, в которых отмечено заметное опреснение поверхности относительно придонных слоёв, что говорит о зарождении стратификации. Наблюдения за донными сообществами, проводившиеся три года подряд, позволили установить следующее. В июне общее число видов макробентоса оказывалось ниже, чем в августе, что согласуется с естественной сезонной динамикой сообществ. С усилением изоляции происходит трансформация донных сообществ: доминирование переходит от фильтраторов-сестонофагов, приуроченных к крупным фракциям грунта, к детритофагам, предпочитающим илистые осадки. Индекс видового разнообразия Шеннона при этом снижается в два раза от наименее изолированных лагун к наиболее, что связано с возрастанием степени доминирования в водоёмах. Наибольший вклад в межлагунные различия вносят двустворчатые и брюхоногие моллюски.

Полученные данные впервые для Белого моря предоставляют количественную характеристику межгодовой изменчивости макробентосных сообществ лагун в условиях возрастающей изоляции. Эти материалы могут служить основой для долгосрочного мониторинга прибрежных экосистем, а также для прогнозирования изменений, которые возникают при искусственном отчленении морских заливов под влиянием хозяйственной деятельности.

Исследование выполнено при поддержке инициативного проекта СПбГУ «На пути от морского залива к пресному озеру — особенности биоты беломорских лагун».

Заднежаберные моллюски семейства Eoscaphandridae (Gastropoda: Heterobranchia: Cephalaspidea) сублиторали Белого моря

Е.М. Чабан[1]*, Д.М. Щепетов[2], М.В. Становова[3], А.А. Миролюбов[1], И.А. Екимова[3]

[1]*Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия;*

[2]*The Steinhardt Museum of Natural History, Israel National Center for Biodiversity Studies, Tel Aviv, Israel;*

[3]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия.*

*E-mail: echaban@zin.ru

Cylichnoides occultus (Mighels et C.B. Adams, 1842), высокобореально-арктический циркумполярный широко распространенный в Арктике вид заднежаберных брюхоногих моллюсков, известный до конца 20 века как *Cylichna occulta* (Golikov, 1995), как и второй широко распространенный циркумполярный хорошо известный вид, *Cylichna alba* (T.Brown, 1827), указывали с составе или семейства Cylichnidae H.Adams et A.Adams, 1854 (G.O.Sars, 1878), или семейства Scaphandridae G.O.Sars, 1878 (Thiele, 1928; Golikov, 1995). Оба вида относились к роду *Cylichna* Lovén, 1846 (типовой вид *Bulla cylindracea* Pennant, 1777), обладая сходными раковиной, радулой и тремя пластинками гиззарда. На основании различий в морфологии копулятивного аппарата Ю.С. Миничев (1977) описал подрод *Cylichnoides* (с типовым видом *Bulla occulta* Mighels et C.B. Adams, 1842), статус которого был поднят до рода (Chaban, 2001). На основании данных молекулярно-генетического анализа (Siegwald et al., 2022) род *Cylichnoides* был включен в состав семейства Eoscaphandridae Chaban et Kijashko, 2016, что с морфологической точки зрения было полной неожиданностью, так как представители этого семейства, включая типовой северо-тихоокеанский вид *Eoscaphander fragilis* Habe, 1952, имели существенные отличия в морфологии радулы и гиззарда, содержащего всего две жевательные пластики (Chaban, Kijashko, 2016). В результате всех этих исследований два широко распространенных циркумполярных вида, известных ранее как *Cylichna alba* и *Cylichna occulta* (Golikov, 1995), оказались не только в составе разных родов (*Cylichna* и *Cylichnoides* соответственно), но и разных семейств (Cylichnidae и Eoscaphandridae соответственно).

Cylichnoides occultus s. lato (семейство Eoscaphandridae) согласно Лемке (Lemche, 1948) включал целый ряд субъективных синонимов и соответственно, морфотипов. В том числе, синонимами считались *Bulla scalpta* Reeve, 1855 из Арктической Канады и *Cylichna insculpta* Totten var. *valida* Leche, 1878 из Карского моря, а *Utriculopsis densistriata* Leche, 1878 из Карского моря рассматривался как подвид *Cylichna occulta*. На основании различных морфологических особенностей было предложено (Chaban, 2016) считать валидным названием *Bulla scalpta* (как *Cylichnoides scalptus*), а также *Utriculopsis densistriata* и вариетет *valida* рассматривать в ранге вида (как *Cylichnoides densistriatus* и *Cylichnoides validus* соответственно). Недавно (Chaban et al., 2026) видовой статус этих названий был подтвержден с помощью молекулярно-филогенетического анализа материала из разных районов Арктики.

Для Белого моря из группы видов *Cylichnoides occultus* s. lato в разное время были указаны *C. densistriatus* (Герценштейн, 1885, как *Utriculopsis densistriata*), *C. occulta* (Голиков, 1987, как *Cylichna occulta*) и *C. scalptus* (Chaban, 2001, как *Cylichnoides scalpta*) – все в составе семейства Scaphandridae. Так как теперь род *Cylichnoides* рассматривается в составе семейства Eoscaphandridae, то единственным представителем семейства Scaphandridae в Белом море остается только *Scaphander punctostriatus* (Mighelset et C.B. Adams, 1842), 3 экземпляра которого были собраны в Воронке (Голиков, 1987).

Для изучения фауны и систематики рода *Cylichnoides* с использованием молекулярно-генетических методов в 2019 – 2022 гг в арктических морях был собран с помощью

дночерпателя (площадь раскрытия 0.1 м^2) и малого трала Сигсби большой материал, включающий более двух сотен экземпляров. Подавляющее большинство моллюсков были собраны в Белом море, в районе ББС им. Н.А. Перцова (траловые сборы) и губы Чупа (водолазные сборы). Интегративный анализ с изучением сиквенсов (по генам COI, 16S, H3 и 28S) 50 экземпляров из Белого моря (Chaban et al., 2026) показал наличие в беломорских сборах только двух видов рода *Cylichnoides*: *C. occultus* s.str. и *C. densistriatus*. Оба вида сублиторальные, обитают на мягких грунтах.

Cylichnoides occultus в Белом море имеет овальную раковину высотой до 6.6 мм, с зауженным апексом, с белым, желтоватым или красно-коричневым периостракумом, не очень широкую (отношение ширины раковины к ее высоте составляет 57 – 66%. Вид распространен циркумполярно, молекулярно подтверждены находки в Канадской Арктике, Белом и Печорском морях (Chaban et al., 2026). В Белом море собран на глубине 8 – 80 м (единично 0.5 м) при солености 26 – 27‰. Форма раковины в Белом море очень изменчива. Экземпляры с прямой наружной губой напоминают *Cylichna alba,* но у последней слабо выражена спиральная скульптура и пластинки гиззарда мелкие, как у всех представителей этого рода (Чабан, 2026).

Cylichnoides densistriatus в Белом море имеет раковину высотой до 5.3 мм, с широким апексом, покрытую белым периостракумом, как правило, очень широкую (отношение ширины раковины к ее высоте составляет 64 – 103%. Распространен в Белом, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях. Молекулярно подтверждены находки в Белом (ББС МГУ и губа Чупа) и Карском морях (Chaban et al., 2026). В Белом море собран на глубине 9 – 174 м при температуре от –1.4 до 11.9°C. Форма раковины в Белом море очень изменчива. Более узкие экземпляры напоминают белые экземпляры *C. occultus,* отличаясь от последних шаровидной формой мешка пениса (у *C. occultus* он полукруглый или вытянутый).

Нахождение в Белом море *C. scalptus* не подтверждено. Однако, следует отметить, что у нас нет материала из Воронки, пригодного для молекулярно-генетического анализа, в то время как эта часть Белого моря существенно отличается от других его районов как по гидрологии, так и по фауне (Наумов, 2019).

Работа выполнена в рамках Государственного задания №125012800918-9 (Таксономия, биоразнообразие и экология беспозвоночных гидробионтов в регионах современных транспортно-экономических коридоров Арктики, Внутренней Азии и Дальнего Востока в условиях меняющегося климата и нарастающего антропогенного воздействия) и частично (молекулярные исследования) поддержана грантом РНФ №20-74-10012.

Тафоценозы литоральных фораминифер двух губ Белого моря

П.Г. Чернакова[1], Е.А. Голикова[1]*, Д.А. Аристов[2], А.Е. Новихин[3], С.А. Корсун[4]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;*
[2]*Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия;*
[3]*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия;*
[4]*Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия.*
*E-mail e.golikowa@spbu.ru

Тафоценозы литоральных фораминифер представляют собой уникальный объект для изучения взаимодействия биологических и геологических процессов в прибрежной зоне. В отличие от живых сообществ, отражающих текущее состояние среды, тафоценозы (совокупности отмерших раковин) аккумулируют информацию о смертности, переносе, захоронении и растворении за длительные интервалы времени. Именно поэтому они традиционно используются как основа для палеоэкологических реконструкций и, в частности, для реконструкции относительного уровня моря в голоцене. Однако степень, в которой тафоценоз сохраняет пространственный и гипсометрический сигнал, определяется условиями осадконакопления: гидродинамикой, типом субстрата, скоростью седиментации и содержанием органического вещества. В настоящей работе сравниваются тафоценозы фораминифер двух контрастных по механическому составу грунта литоральных губ Белого моря, открытой Медвежьей губы и полуизолированной Сельдяной, с целью выявить, как различия между закрытым от прибоя и экспонированным пляжем отражаются на структуре и информативности тафоценоза.

Исследование проводили на литоральных трансектах бентосного мониторинга ББС ЗИН РАН в губах Сельдяная и Медвежья в марте, мае, августе и ноябре 2015-2017 гг. Пробы поверхностного слоя грунта толщиной 0-1 см объёмом 20 см³ отбирали на трансекте из 4 станций по 3 повторности на илистом пляже в губе Сельдяной и песчаном в Медвежьей. Грунт фиксировали 70% этанолом с красителем бенгальским розовым (2 г/л) для разделения живых и мёртвых фораминифер. Для дальнейшего анализа использовали численность живых (окрашенных) фораминифер, а также мертвых (пустых) раковин размером 0.125–0.5 мм, пересчитанных на 10 см³. Дополнительно в обеих губах были выполнены однократные измерения общего органического вещества (TOC) и гранулометрического состава осадка на трансектах.

Анализ гранулометрического состава и содержание общего органического вещества подтверждают принципиальное различие условий осадконакопления в двух губах. Полуизолированная Сельдяная губа характеризуется сильно заиленным осадком с высокими концентрациями TOC, что говорит об ослабленной гидродинамике. В открытой Медвежьей губе, напротив, грунт почти лишен мелкозернистых фракций, опесчанен, концентрации TOC низкие; гидродинамика активная.

В обеих губах пики численности живых и мёртвых раковин не совпадают ни по сезонам, ни по горизонтам, что свидетельствует о том, что тафоценоз не является зеркалом живого сообщества ни в одной из губ. В Медвежьей губе максимум живых в августе и ноябре 2016 г. не сопровождается ростом мёртвых в ноябре–марте, а весенние всплески мёртвых (март–май) не совпадают с пиками живых в предшествующий сезон. В Сельдяной губе живые особи дают весенние пики, тогда как мёртвые либо запаздывают на 1-2 сезона, либо сглажены. В обоих случаях вклад в колебания обилия пустых раковин вносит привнесение раковин с расположенного выше по трансекте марша и перенос пустых раковин сублиторальных видов из верхней сублиторали под действием волновой активности. Это означает, что тафоценоз на

литорали формируется не только за счёт локального отмирания, но и за счёт переноса, переотложения и растворения.

Тип губы определяет характер накопления мёртвых раковин. В песчаной Медвежьей губе накопление мёртвых раковин импульсное и низкое: единичный резкий пик обилия в 350 экз./30 $см^3$, нет устойчивого во времени и пространстве накопления, высокая пространственная изменчивость. В илистой Сельдяной накопление постоянное и высокое: 1000–2000 экз./30$см^3$ практически во все сезоны и на всех станциях, есть тенденция к уменьшению обилий пустых раковин вниз по литорали. Это отражает фундаментальное различие: песчаная открытая литораль в Медвежьей губе работает как транзитная зона. Раковины отмирают, привносятся сюда из других горизонтов, но не задерживаются. Полуизолированная илистая Сельдяная губа работает как седиментационная ловушка, где отмершие раковины накапливаются и захораниваются.

Соотношение “мертвые”/”живые” выступает индикатором тафономической сохранности. В Медвежьей губе соотношение мёртвых и живых близко к 1:1 или даже в пользу живых. В Сельдяной же мёртвые доминируют над живыми на 1-2 порядка величины. Это указывает на разную степень тафономической сохранности: в песчаной Медвежьей губе сигнал теряется, в илистой Сельдяной – накапливается.

Ключевым фактором, определяющим структуру тафоценоза, оказывается не только гидродинамика и тип осадка, но и видовая специфика сохранности раковин. Три массовых вида, доминирующих в живом сообществе обеих губ, демонстрируют принципиально разную судьбу после отмирания клетки. Известковый *Elphidium williamsoni*, один из массовых видов в живых пробах, практически не встречается в отмершем состоянии. Его раковины, вероятно, растворяются. Наиболее вероятная причина – поступление большого пресного стока с суши, обогащённого гуминовыми кислотами, который закисляет среду и способствует растворению секреционных раковин. Органическая раковина моноталамной фораминиферы *Ovammina opaca* очень быстро разрушается после отмирания клетки и редко обнаруживается в пробах. Единственным видом, который стабильно и массово представлен в тафоценозе, оказывается агглютинированная *Miliammina fusca*. Пустые раковины этого вида хорошо сохраняются в осадке, особенно в илистой Сельдяной губе, вероятно, благодаря прочному органическому слою внутри раковины. Именно *M. fusca* даёт основной сигнал в тафоценозе обеих губ, но значительно лучше он выражен в Сельдяной, где условия жизни (высокие концентрации TOC) и захоронения (илистый грунт, пассивная гидродинамика) наиболее благоприятны для накопления и сохранения агглютинированных раковин. Таким образом, видовой состав тафоценоза смещён в сторону устойчивых к растворению и разрушению форм. Этот сдвиг необходимо учитывать при палеореконструкциях.

Тафоценозы фораминифер литорали Белого моря не являются прямым отражением живых сообществ: их состав и структура контролируются условиями захоронения, а не только сезонной динамикой живых фораминифер. Тип губы (гидродинамика и тип осадка) определяет пригодность тафоценоза для палеореконструкций: в открытой песчаной губе тафоценоз не устойчив во времени и пространстве, характеризуется высокой пространственной изменчивостью, в полуизолированной илистой губе – обилен, стабилен и пространственно репрезентативен. Основу такого тафоценоза на литорали Белого моря составляет массовый агглютинированный вид *Miliammina fusca*, который формирует основной сигнал тафоценоза.

Сбор материала осуществлен в рамках темы государственного задания ЗИН РАН №125012800889-2. Работа с данными выполнена в рамках темы государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема FMWE-2024-0020). Работа (фораминиферовый анализ) выполнена при поддержке СПбГУ (шифр проекта № 138093606).