IX Международная научно-практическая конференция

«Морские исследования и образование»

IX International conference
«Marine Research and Education»

MARESEDU-2020

ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ / CONFERENCE PROCEEDINGS
Том I (III) / Volume I (III)

26-30 октября 2020 г.

УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

Т78

Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)» Том I (III): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2020, 362 с.: ISBN 978-5-6045536-3-3.

Сборник «Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из трех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям технической программы конференции: океанология, гидрология, морская геология, морская биология, геофизические исследования на акваториях, геофизика, рациональное природопользование и подводное культурное наследие.

Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, шельфовых морей и крупнейших озер, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, проблемы освоения ресурсов континентального шельфа, достижения науки в области морской геологии, современные подходы к исследованиям обширных акваторий дистанционными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организацию и проведение комплексных экспедиционных исследований, преподавание «морских дисциплин», вопросы организации полевых практик студентов.

Мероприятия проведено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №20-05-22025.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 7, пом. II polypress@yandex.ru

ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

РФ, 119234, г. Москва, ул. Ленинские Горы, д. 1, стр. 77

(495) 648-65-58/ 930-80-58

Все права на издание принадлежат ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова», 2020
© ООО «ПолиПРЕСС»

Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова, Учебно-научный Центр ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Беломорская биологическая станция имени Н.А. Перцова биологического факультета при поддержке геологического, географического и биологического факультетов МГУ имени М.В. Ломоносова рады приветствовать Вас на IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU – 2020)».

В рамках конференции 2020 года предлагается обсудить состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, освоения ресурсов континентального шельфа и дна Мирового океана, достижения науки в области морской геологоразведки и экомониторинга, современные методические подходы к исследованию обширных акваторий различными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организации и проведения комплексных экспедиционных исследований с участием студентов, проблемы преподавания «морских дисциплин», а также вопросы организации полевых практик студентов.

Среди главных целей конференции-информационный обмен и координация усилий научного и университетского сообществ в организации междисциплинарных морских исследований и интеграции практических работ с образованием в мореведении.

Мероприятия проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №20-22025. Около 50% докладов российских участников мероприятия подготовлены по результатам реализации проектов, поддержанных РФФИ.

ОРГАНИЗАТОРЫ

Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова;
Учебно-Научный Центр ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике;
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН;
Беломорская биологическая станция имени Н.А. Перцова Биологического факультета;
Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова;
Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова;
Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова.

КООРДИНАТОР

ЦМИ МГУ

Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова

119234, Россия, г. Москва,
ул. Ленинские горы, 1-77
Научный парк МГУ, офис 402
w.: www.marine-rc.ru

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

РФФИ

Российский фонд фундаментальных исследований

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

ЛОБКОВСКИЙ ЛЕОПОЛЬД ИСАЕВИЧ (председатель организационного комитета)	Член-корреспондент РАН, Научный руководитель Геологического направления Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, д.ф.-м.н.
КИРПИЧНИКОВ МИХАИЛ ПЕТРОВИЧ (сопредседатель организационного комитета)	Академик РАН, декан Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.б.н., профессор
ПУЩАРОВСКИЙ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ (сопредседатель организационного комитета)	Академик РАН, декан Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., профессор
ДОБРОЛЮБОВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ (сопредседатель организационного комитета)	Член-корреспондент РАН, декан Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.г.н., профессор

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

АХМАНОВ ГРИГОРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ (председатель программного комитета)	Доцент, руководитель кафедры ЮНЕСКО по морской геологии и геофизике, директор Учебно-научного Центра ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике при геологическом факультете, к.г.н.
ДЕМИДОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ (сопредседатель программного комитета)	Доцент, с.н.с. кафедры океанологии Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, к.г.н.
СУБЕТТО ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ (сопредседатель программного комитета)	Декан факультета географии РГПУ имени А.И. Герцена, д.г.н.
ТОКАРЕВ МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ (сопредседатель программного комитета)	Заместитель декана Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, к.т.н.
ЦЕТЛИН АЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ (сопредседатель программного комитета)	Директор Беломорской биологической станции имени Н.А. Перцова, профессор биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.б.н.
ДЕМИДЕНКО НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ	Старший научный сотрудник Государственного океанографического института имени Н.Н. Зубова, к.г.н
КРАШЕНИННИКОВА СВЕТЛАНА БОРИСОВНА	Старший научный сотрудник Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН., к. г. н.
МОКИЕВСКИЙ ВАДИМ ОЛЕГОВИЧ	Заведующий лабораторией экологии прибрежных донных сообществ Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, д.б.н.
НОВИГАТСКИЙ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ	С.н.с. лаборатории физико-геологических исследований Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, к.г.-м.н.
ПЛЕШКОВ АНТОН ЮРЬЕВИЧ	Генеральный директор ООО "Морские инновации"
РЫБАЛКО АЛЕКСАНДР ЕВМЕНЬЕВИЧ	Профессор кафедры геоморфологии СПбГУ, в.н.с. ФГБУ "ВНИИОкеангеология", главный научный сотрудник ЦАСД МГУ, д.г.-м.н.
СПИРИДОНОВ ВАСИЛИЙ АЛЬБЕРТОВИЧ	Ведущий научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, , д.б.н.
СЫЧЕВ ВИТАЛИЙ ИВАНОВИЧ	Профессор кафедры океанологии РГГМУ, эксперт МОК ЮНЕСКО и МНОК РФ, к.ф.-м.н.
ФАЗЛУЛЛИН СЕРГЕЙ МАРАТОВИЧ	Президент Конфедерации подводной деятельности России, к.г.н.
ШАБАЛИН НИКОЛАЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ	Исполнительный директор Центра морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова, к.б.н.
ШЕВЧЕНКО ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ	Заместитель директора по Геологическому направлению Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, к.г.-.м.н.

Том I (III) / Volume I (III)

Оглавление / Contents

Программа конференции / Conference Programme

Тезисы / Abstracts

Углеводородные газы и газовые гидраты в морских отложениях. Устные доклады

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ГАЗОГИДРАТОВ В ОХОТСКОМ МОРЕ И УСЛОВИЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ В ОХОТСКОМ МОРЕ

Обжиров А.И. ……..42

ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТА МЕТАНА В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ ПОСРЕДСТВОМ СИНХРОТРОННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Дугаров Г.А., Никитин В., Фокин М.И., Дучков А.А.……45

КАРТИРОВАНИЕ ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В АКВАТОРИЯХ МОРЕЙ РОССИИ

Матвеева Т.В., Семёнова А.А., Бочкарев А.В.……48

УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ КРИОГЕННЫХ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА РОССИЙСКОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЕ

Друщиц В.А. ……51

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДЕСТАБИЛИЗАЦИЮ ВНУТРИМЕРЗЛОТНЫХ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ

Давлетшина Д.А., Чувилин Е.М., Екимова В.В., Буханов Б.А., Шахова Н.Е., Семилетов И.П.……55

ОЦЕНКА РОЛИ МИГРАЦИИ СОЛЕЙ В ДЕСТАБИЛИЗАЦИИ ВНУТРИМЕРЗЛОТНЫХ ГАЗОГИДРАТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Екимова В.В., Чувилин Е.М., Буханов Б.А., Гребенкин С.И., Шахова Н.Е., Семилетов И.П.……59

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕКЛИКТОВОЙ СУБАКВАЛЬНОЙ МЕРЗЛОТЫ И ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Щур Н.А., Семёнова А.А., Матвеева Т.В.……63

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ЭВОЛЮЦИЮ РЕЛИКТОВОЙ СУБМАРИННОЙ МЕРЗЛОТЫ И ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Семёнова А.А., Матвеева Т.В., Щур Н.А.……66

ПРОГНОЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АССОЦИИРОВАННЫХ С РЕЛИКТОВОЙ МЕРЗЛОТОЙ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Смирнов Ю.Ю., Семёнова А.А., Щур. Н.А., Матвеева Т.В.……70

ПРОБЛЕМЫ ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПРИ КАРТИРОВАНИИ ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ОХОТСКОМ МОРЕ

Бочкарев А.В., Матвеева Т.В., Семенова А.А.……75

ЗАВИСИМОСТЬ ЭВОЛЮЦИИ ГИДРАТОНАСЫЩЕННОСТИ МОРСКИХ ОСАДКОВ ОТ ОСОБЕННОСТЕЙ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА МОРСКОГО ДНА

Суетнова Е.И.…….79

СОВРЕМЕННАЯ И ПАЛЕО-ФЛЮИДОРАЗГРУЗКА В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ: ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19

Соловьева М.А., Видищева О.Н., Ахманов Г.Г., Монтелли А.И.……83

СОСТАВ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГАЗОВ ИЗ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19)

Егошина Е.Д., Видищева О.Н., Полудеткина Е.Н., Валиева Э.И., Чевелёв В.К.……86

ГГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ФЛЮИДОРАЗГРУЗКИ В СЕВЕРО_ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19

Видищева О.Н., Егошина Е.Д., Валиева Э.Э., Чевелев В.К., Полудеткина Е.Н., Ахманов Г.Г.……90

Углеводородные газы и газовые гидраты в морских отложениях. Стендовые доклады

ПРИЗНАКИ ПОЗДНЕ-ПЛЕЙСТОЦЕНОВОЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ГИДРАТОНОСНОСТИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19)

Сигачева Л.Ю., Кудаев А.А., Монтелли А.И., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М.……94

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС НА ПУТИ К ОСВОЕНИЮ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

Логвина Е.А., Матвеева Т.В., Назарова О.В., Бочкарев А.В., Семенова А.А.……98

АУТИГЕНЕЗ ГАЗОГИДРАТОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СТРУКТУРЫ ХАОС (ОХОТСКОЕ МОРЕ)

Логвина Е.А., Крылов А.А., Матвеева Т.В……102

Морская биология. Устные доклады

АНАТОМИЯ ЦЕЛОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БРАХИОПОДЫ NOVOCRANIA ANOMALA

Пландин Ф.А., Темерева Е.Н.……107

ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КЛЕТОК В РЕГЕНЕРАЦИИ ИЗВЕСТКОВОЙ ГУБКИ LEUCOSOLENIA CF. VARIABILIS

Скоренцева К.В., Лавров А.И., Саидова А.А.……110

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕЛАГИЧЕСКИХ АМФИПОД СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Осипова Д.Д.……114

ТОНКОЕ СТРОЕНИЕ ХОБОТА САМОК BONELLIA VIRIRDIS (ECHIURA)

Кузнецов П.А., Темерева Е.Н.……118

ГИБРИДИЗАЦИЯ И ВИДОВОЙ СТАТУС ГИДРОИДНЫХ SARSIA В БЕЛОМ МОРЕ

Прудковский А.А., Батрина Д.А., Неретина Т.В.……..…..121

АНАЛИЗ МИКРОБИОМОВ КОЛЬЧАТЫХ ЧЕРВЕЙ СЕМЕЙСТВ TRICHOBRANCHIDAE И ORBINIIDAE КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Щербакова П.А., Гавирова Л.А., Попова А.А., Ельченинов А.Г., Шестаков А.И., Кубланов И.В.……..……..124

ОСОБЕННОСТИ ИНДУКЦИИ СТРОБИЛЯЦИИ AURELIA (SCYPHOZOA) В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Сухопутова А.В., Краус Ю.А.……..…….128

О ЩУПАЛЬЦАХ ВНУТРИПОРОШИЦЕВЫХ

Борисанова А.О.…….....…129

ПЛАНКТОН И БЕНТОС АЗОВСКОГО МОРЯ. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА

Афанасьев Д.Ф., Мирзоян З.А., Сафронова Л.М., Фроленко Л.Н., Живоглядова Л.А.……..…..132

НИЖНЯЯ ГРАНИЦА ДОННОЙ ФАУНЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ И ЕЕ ДИНАМИКА

Колючкина Г.А., Семин В.Л., Чикина М.В., Басин А.Б., Булышева Н.И., Коваленко Е.П., Бирюкова С.В.……..…..135

МАКРОФИТЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ЕГО ЛАГУН

Герб М.А., Володина А.А.……..…..139

СВОБОДНОЖИВУЩИЕ И ПРИКРЕПЛЕННЫЕ ПРОКАРИОТЫ КАРСКОГО МОРЯ И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Романова Н.Д., Беззубова Е.М.……..…..143

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ФРОНТАЛЬНОГО БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА В МЕЛКОВОДНОЙ ПРИЛИВНОЙ ЛАГУНЕ СУХОЕ МОРЕ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Мосеев Д.С., Лещев А.В., Сергиенко Л.А.……..…..146

СООБЩЕСТВА ЗООБЕНТОСА ЖЕЛОБА ФРАНЦ-ВИКТОРИЯ И ШЕЛЬФА АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА ПО МАТЕРИАЛАМ ДРЕЙФА НЭС "АКАДЕМИК ТРЁШНИКОВ" ВЕСНОЙ 2019 Г.

Зимина О.Л., Сёмин В.Л.……..…..150

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ПОСЕЛЕНИЙ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ MYA ARENARIA L. В БЕЛОМ МОРЕ: НОВЫЕ ДАННЫЕ И ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ

Малова Д.С., Герасимова А.В., Максимович Н.В., Филиппова Н.А.……..…..154

БАЗА ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МОРЯХ РОССИИ: ЦЕЛИ СОЗДАНИЯ, ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Михлина А.Л., Семенова М.И., Кокорин А.И., Коновалова О.П., Шурыгина А.А., Шабалин Н.В.……..…..159

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ СООБЩЕСТВ НЕМАТОД В СЕЗОННЫХ ЛЬДАХ БЕЛОГО МОРЯ

Тимченко А.И., Портнова Д.А.……..…..161

ВНУТРИВИДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗМЕЕХВОСТОК OPHIURA SARSII LÜTKEN, 1855 В ПРЕДЕЛАХ АРКТИЧЕСКОГО И ТИХООКЕАНСКОГО БАССЕЙНОВ

Стратаненко Е.А., Назарова С.А., Смирнов И.С.……..…..167

СУБГАЛОКЛИННЫЕ ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ

Ежова Е.Е., Кочешкова О.В., Багиров Н.Э.……169

СЕЗОННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ МАССОВЫХ ВИДОВ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ЛИТОРАЛИ ГУБЫ КИСЛОЙ БЕЛОГО МОРЯ

Залота А.К., Спиридонов В.А. , Мокиевский В.О., Цетлин А.Б.……174

ОЦЕНКА КОМПОНЕНТОВ БЕНТИЧЕСКОЙ ПИЩЕВОЙ СЕТИ ГЛУБОКОГО ПРИБРЕЖНОГО ТРОГА БЕЛОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ И ТРАДИЦИОННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ТРОФИЧЕСКИХ ТИПАХ ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ

Спиридонов В.А., Залота А.К., Мокиевский В.О., Дгебуадзе П.Ю., Цетлин А.Б.……178

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МОРСКИХ ОКУНЕЙ РОДА SEBASTES АТЛАНТИЧЕСКОГО И СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНОВ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Артамонова В.С., Рольский А.Ю. , Махров А.А.……184

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА КИСЛО-СЛАДКОЕ, ЧАСТИЧНО ИЗОЛИРОВАННОГО ОТ БЕЛОГО МОРЯ, В НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЕ ИЗОЛЯЦИОННОЙ СУКЦЕССИИ

Иванова Д.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Радченко И.Г.……188

ХАРАКТЕРИСТИКА ПИТАНИЯ ВЗРОСЛОЙ ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ GASTEROSTEUS ACULEATUS (LINNAEUS, 1758) НА НЕСТИЛИЩАХ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Демчук А.С., Иванов М.В., Иванова Т.С., Полякова Н.В., Лайус Д.Л.……193

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ И ИНДЕКСА РАЗНООБРАЗИЯ ИХТИОПЛАНКТОНА ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Карасева Е.М., Ежова Е.Е.……196

ПИЩЕВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ТРЁХИГЛОЙ КОЛЮШКИ (GASTEROSTEUS ACULEATUS L.) С ДРУГИМИ ВИДАМИ РЫБ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Смирнова К.А., Демчук А.С., Иванов М.В., Иванова Т.С., Лайус Д.Л.……199

ВИДЫ-ВСЕЛЕНЦЫ В ЛЕТНЕМ ЗООПЛАНКТОНЕ РАЗНЫХ РАЙОНОВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Полунина Ю.Ю., Уткина Я.В.……203

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Удовик Д.А., Шабалин Н.В., Турчин Р.В., Доценко Б.А.……207

МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ КИСЛОЙ ГУБЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ НА БИОКОРРОЗИЮ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Брюханов А.Л., Власов Д.Ю., Няникова Г.Г., Лаптев А.Б., Царовцева И.М.……219

МИКРОБИОМ КИШЕЧНИКА РЫБ БЕЛОГО МОРЯ, ВЫЯВЛЕННЫЙ МЕТОДОМ МЕТАБАРКОДИНГА ПО 16S рРНК

Бурцева О.И., Кублановская А.А., Федоренко Т.А., Лобакова Е.С., Чеканов К.А.……223

МИКРОБНОЕ СООБЩЕСТВО ЦИКЛА МЕТАНА ВОДНОЙ ТОЛЩИ МЕРОМИКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА БОЛЬШИЕ ХРУСЛОМЕНЫ

Саввичев А.С., Кадников В.В., Русанов И.И.……226

ФЕРМЕНТАТИВНЫЕ СВОЙСТВА МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ, ДО И ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Гладкова К.О., Ким А.В., Богатыренко Е.А.……230

РАЗЛОЖЕНИЕ КЛАДОФОРЫ: НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В СОЛЕНОМ ОЗЕРЕ – ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Басова М.М., Празукин А.В., Фирсов Ю.К.……233

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ СТУДЕНИСТОГО МАКРОЗООПЛАНКТОНА НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Луппова Н.Е.……235

ЧТО МЫ ЗНАЕМ О САМЦАХ БЕЛОМОРСКОГО КАЛЯНУСА? ЛЮБОПЫТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ САМЦОВ АРКТИЧЕКИХ КОПЕПОД

Кособокова К.Н.……239

Морская биология. Стендовые доклады.

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ Anadara kagoshimensis (BIVALVIA) В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

Колючкина Г.А., Симакова У.В., Елена Дунка , Семин В.Л., Птушкин М.Д., Тимофеев В.А., Рязанцев К.М.……245

ПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА OPHIURA SARSII LÜTKEN, 1855 В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

Назарова С.А., Стратаненко Е.А., Генельт-Яновский Е.А.……249

РОЛЬ ПОБЕГА В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У КОЛОНИАЛЬНОГО ГИДРОИДА DYNAMENA PUMILA (L., 1758)

Дементьев В.С., Марфенин Н.Н.……252

РАКОВИННАЯ БОЛЕЗНЬ Anadara kagoshimensis (BIVALVIA): ПРИЧИНЫ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛЯ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ

Птушкин М.Д., Симакова У.В., Колючкина Г.А., Семин В.Л.……256

СТРУКТУРА МЕЙОБЕНТОСА И ПРЕДСТАВИТЕЛИ ТИПА TARDIGRADA В АКВАТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОКА САХАЛИНА

Федяева М.А.……260

ГИБРИДИЗАЦИЯ ДВУХ БЛИЗКОРОДСТВЕННЫХ ВИДОВ CHIRONOMUS ГРУППЫ PLUMOSUS В ПРИБРЕЖНОЙ ЛАГУНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ (КУРШСКИЙ ЗАЛИВ)

Маркиянова М.Ф.……265

ИЗВЕСТКОВЫЕ ГУБКИ БЕЛОГО МОРЯ (CALCAREA, PORIFERA): МЕХАНИЗМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗ ДИССОЦИИРОВАННЫХ КЛЕТОК

Фролова В.С., Скоренцева К.В., Ересковский А.В., Лавров А.И.……268

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ТРЕНДЫ В РАЗВИТИИ ПЛАНКТОТРОФНЫХ И ЛЕЦИТОТРОФНЫХ ЛИЧИНОК ПОЛИХЕТ

Козин В.В., Римская-Корсакова Н.Н., Храмова Ю.В., Костюченко Р.П.……..272

ОСЕВЫЕ ОТНОШЕНИЯ У МНОГООСКУЛЮМНОЙ ГУБКИ: ТРАНСКРИПТОМНЫЙ ПОДХОД К ВОПРОСУ ПОЛЯРНОСТИ LEUCOSOLENIA CF. VARIABILIS (CALCAREA, PORIFERA)

Борисенко И.Е., Лавров А.И., Ересковский А.В.……...275

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БИОТЫ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ПРЕГОЛЯ ПОСЛЕ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ РУСЛА В УСЛОВИЯХ БЕСПРИЛИВНОГО БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Полунина Ю.Ю., Герб М.А., Ежова Е.Е., Ланге ЕЕ.К., Володина А.А., Кочешкова О.В.……...279

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ТРОФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛИТОРАЛЬНОГО МАКРОБЕНТОСА ГУБЫ ГРЯЗНОЙ И ЭСТУАРИЯ РЕКИ ЧЕРНОЙ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)

Столяров А.П.……...283

ИЗМЕНЕНИЯ В СООБЩЕСТВАХ ПОЛИХЕТ ЗЮЙДКАПСКОГО ЖЕЛОБА И МЕДВЕЖИНСКО-НАДЕЖДИНСКОГО МЕЛКОВОДЬЯ (БАРЕНЦЕВО МОРЕ) ЗА ПЕРИОД 2005-2015 ГГ.

Хачетурова К.С., Носова Т.Б., Фролова Е.А., Дикаева Д.Р.……..288

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД В ИЗУЧЕНИИ ДОННЫХ ОСАДКОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Руденко О.В.……...292

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗООБЕНТОСА В ТОЛЩЕ ГРУНТА В ЖЕЛОБЕ ФРАНЦ-ВИКТОРИЯ И У ЗЕМЛИ ФРАНЦА-ИОСИФА ПО ДАННЫМ ПЕРВОГО ЭТАПА ЭКСПЕДИЦИИ «ТРАНСАРКТИКА-2019»

Семин В.Л., Зимина О.Л.……...297

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА СВОБОДНОЖИВУЩИХ НЕМАТОД КАРСКОГО МОРЯ

Лепихина П.П., Портнова Д.А.……301

ДОННЫЕ БИОЦЕНОЗЫ АЗОВСКОГО МОРЯ НА ПИКЕ СОВРЕМЕННОГО ОСОЛОНЕНИЯ

Живоглядова Л.А., Фроленко Л.Н., Афанасьев Д.Ф.……..305

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОЯСНЫХ СООБЩЕСТВ ЧЕРНОГО МОРЯ

Семин В.Л., Колючкина Г.А., Чикина М.В., Басин А.Б.……308

МАСШТАБЫ МОЗАИЧНОСТИ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА СУБЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОСТЕРЫ В ТАМАНСКОМ ЗАЛИВЕ

Любимов И.В., Колючкина Г.А., Мокиевский В.О.……...312

ФЛОРА МАКРОВОДОРОСЛЕЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Володина А.А.……..316

РОЛЬ БЕНТОСНЫХ ХИЩНИКОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЭПИБИОЗА КРАСНОЙ ВОДОРОСЛИ PHYCODRYS RUBENS В ПРОЛИВЕ ВЕЛИКАЯ САЛМА (КАНДАЛАКШСКИЙ З-В, БЕЛОЕ МОРЕ)

Чава А.И., Артемьева А.В., Яковис Е.Л.……320

О НАХОДКАХ ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ RANGIACUNEATA (BIVALVIA:MACTRIDAE) И LAONOMECF. CALIDA (POLYCHAETA: SABELLIDAE) В РОССИЙСКИХ ВОДАХ ВОСТОЧНОЙ И ЮЖНОЙ БАЛТИКИ

Лятун М.В., Ежова Е.Е., Орлова М.И.……..325

ЦВЕТЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В МЕЛКОВОДНОЙ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ЮЖНОЙ БАЛТИКИ

Мельник А.С., Ежова Е.Е., Ланге Е.К.……..330

РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПИТАНИИ РЫБ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Зеленская А.Е, Иванова Т.С., Иванов М.В., Демчук А.С., Лайус Д.Л.……..334

СРАВНЕНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗРАСТА И РОСТА КЛЮВОРЫЛОЙ АНТИМОРЫ ANTIMORA ROSTRATA (MORIDAE, GADIFORMES) В ВОДАХ ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ

Коростелев Н.Б., Орлов А.М.……337

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОСОМНЫХ БАКТЕРИОХЛОРОФИЛЛОВ ЗЕЛЕНЫХ СЕРНЫХ БАКТЕРИЙ ПО СПЕКТРАМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ЭКСТРАКТОВ

Рымарь В.В., Жильцова А.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Пацаева С.В.……340

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ВОДЫ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ВОДОЕМОВ КАНДАЛАКШСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ

Жильцова А.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Емельянцев П.С., Пацаева С.В.……344

УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГРИБОВ И ГРИБОПОДОБНЫХ ОРГАНИЗМОВ В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ

Фадеев А.Ю., Георгиева М.Л., Перебоев Д.Д., Бубнова Е.Н.……348

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ БИОТИЧЕСКИХ И АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТКАНЯХ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ КАРСКОГО МОРЯ

Будько Д.Ф., Лобус Н.В., Демина Л.Л., Веденин А.А.……351

РЕПРОДУКТИВНАЯ СИСТЕМА МАССОВЫХ БЕЛОМОРСКИХ КОПЕПОД: ТРЁХМЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ

Юрикова Д.А., Кособокова К.Н., Петрунина А.С.……355

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ АКВАТОРИЙ НА БАЗЕ ОПЕРАТИВНОЙ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Барканова Т.Б.……359

НАУЧНЫЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА "БОЛЬШАЯ АРКТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ 2018"

Смирнов И. А., Шпаро М. Д.……363

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

Понедельник 26 октября 2020

09.00-09.20	Открытие конференции. Приветственное слово Программного комитета			
9.20-12.20	Семинар: Углеводородные газы и газовые гидраты в морских отложениях	Круглый стол: Морские инновационные технологии	Гидрология	Круглый стол: Арктические экспедиции: изучение морских млекопитающих России (09.20-11.30)
12.20-13.30	Обеденный перерыв			
13.30-16.50	Семинар: Углеводородные газы и газовые гидраты в морских отложениях	Морская биология	Гидрология	
16.50-17.30	Кофе-брейк			
17.30-18.30	Стендовая секция: Углеводородные газы и газовые гидраты в морских отложениях	Стендовая секция: Морская биология	Стендовая секция: Гидрология	

Вторник 27 октября 2020

09.00-12.20	Морская биология	Морская геология Арктического бассейна	Подводное культурное наследие
12.20-13.30	Обеденный перерыв		
13.30-15.00	Морская биология	Морская геология Арктического бассейна	
15.00-17.00	Круглый стол: Выделение и картографирование сообществ (бентоса)		
17.00-17.30	Кофе-брейк		
17.30-19.00	Стендовая секция: Морская биология	Стендовая секция: Морская геология Арктического бассейна	Стендовая секция: Подводное культурное наследие

Среда 28 октября 2020

09.00-12.20	Морская геология	Морская биология	Океанология
12.20-13.30	Обеденный перерыв		
13.30-16.50	Морская геология	Морская биология	Океанология (13.30-15.50)

16.50-17.30	Кофе-брейк		
17.30-19.00	Стендовая секция: Морская геология	Стендовая секция: Морская биология	Стендовая секция: Океанология (16.00-19.00)

Четверг

29 октября 2020

09.00-12.20	Рациональное природопользование	Семинар: Геология крупных озер	Геофизика
12.20-13.30	Обеденный перерыв		
13.30-15.00	Рациональное природопользование	Гидрографические и геофизические исследования на акваториях Белого, Карского и Баренцева моря. (13.30-16.50)	Геофизика (13.30-15.10)
15.15-.17.15	КРУГЛЫЙ СТОЛ: Морские и приморские особо охраняемые природные территории: значение для исследований динамики морских экосистем, платформа для научного сотрудничества, проблемы управления и создания		Секция научно-образовательных и научно-популярных фильмов (15.30-17.30)
17.30-18.00	Стендовая секция: Рациональное природопользование	Стендовая секция: Гидрографические и геофизические исследования на акваториях (17.00-18.00)	
18.00-19.00	Закрытие конференции. Заключительное слово от модераторов секций. Вручение сертификатов лучшим стендовым докладам		

Пятница

30 октября 2020

10.00-12.30	Special session on the UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development with a focus on the Arctic Region
12.30-14.00	Panel session on the World Association of Marine Stations and World Congress of Marine Stations
14.30-16.30	UK-Russia joint session on marine expeditions in the Arctic: Understanding Marine Biology and Biogeochemistry of the Changing Arctic Ocean: CAO and Russian Arctic marine research programmes
16.30-18.00	Special session on biological fouling - cross-cutting research opportunities

Семинар
Углеводородные газы и газовые гидраты в морских отложениях

модераторы:	Матвеева Т.В. (ФГБУ"ВНИИОкеангеология")	Полудеткина Е.Н. (МГУ им. М.В. Ломоносова)
09.00-09.20	Открытие конференции. Приветственное слово Программного комитета	
09.20-09.40	ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ГАЗОГИДРАТОВ В ОХОТСКОМ МОРЕ И УСЛОВИЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ В ОХОТСКОМ МОРЕ	Обжиров А.И. 1 1 - ТОИ ДВО РАН
09.40-10.00	Дискуссия	
10.00-10.20	ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТА МЕТАНА В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ ПОСРЕДСТВОМ СИНХРОТРОННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ	Дугаров Г.А. 1, Никитин В. 2, Фокин М.И. 1, Дучков А.А. 1 1 - ИНГГ СО РАН; 2 - Argonne National Laboratory (США)
10.20-10.40	КАРТИРОВАНИЕ ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В АКВАТОРИЯХ МОРЕЙ РОССИИ	Матвеева Т.В. 1, Семёнова А.А. 1, Бочкарев А.В. 1 1 - ВНИИОкеангеология
10.40-11.00	УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ КРИОГЕННЫХ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА РОССИЙСКОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЕ	Друщиц В.А. 1, 1 - ГИЕ РАН
11.00-11.20	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДЕСТАБИЛИЗАЦИЮ ВНУТРИМЕРЗЛОТНЫХ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ	Давлетшина Д.А. 1, Чувилин Е.М. 1, Екимова В.В. 1, Буханов Б.А. 1, Шахова Н.Е. 2,3, Семилетов И.П. 2,3,4 1 – Сколковский институт науки и технологий; 2 – ТПУ; 3 – Аляскинский университет в Фэрбенксе (Аляска, США); 4 – ТОИ ДВО РАН
11.20-11.40	ОЦЕНКА РОЛИ МИГРАЦИИ СОЛЕЙ В ДЕСТАБИЛИЗАЦИИ ВНУТРИМЕРЗЛОТНЫХ ГАЗОГИДРАТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	Екимова В.В. 1, Чувилин Е.М. 1, Буханов Б.А. 1, Гребенкин С.И. 1, Шахова Н.Е. 2, Семилетов И.П. 3,4 1 - Сколтех; 2 - ООО «МГУ-геофизика»; 3 - Институт экологии НИУ ВШЭ; 4 - ТОИ ДВО РАН
11.40-12.00	МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕКЛИКТОВОЙ СУБАКВАЛЬНОЙ МЕРЗЛОТЫ И ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ	Щур Н.А. 1, Семёнова А.А. 1, Матвеева Т.В. 1 1- ВНИИОкеангеология
12.00-12.20	Дискуссия	
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	
13.30-13.50	ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ЭВОЛЮЦИЮ РЕЛИКТОВОЙ СУБМАРИННОЙ МЕРЗЛОТЫ И ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ	Семёнова А.А. 1, Матвеева Т.В. 1, Щур Н.А. 1 1 - ВНИИОкеангеология
13.50-14.10	ПРОГНОЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АССОЦИИРОВАННЫХ С РЕЛИКТОВОЙ МЕРЗЛОТОЙ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ	Смирнов Ю.Ю. 1, Семёнова А.А. 2, Щур. Н.А. 2, Матвеева Т.В. 2 1- РГГМУ; 2 - ВНИИОкеангеология
14.10-14.30	ПРОБЛЕМЫ ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПРИ КАРТИРОВАНИИ ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ОХОТСКОМ МОРЕ	Бочкарев А.В. 1, Матвеева Т.В. 1, Семенова А.А. 1 1 - ВНИИОкеангеология
14.30-14-50	ЗАВИСИМОСТЬ ЭВОЛЮЦИИ ГИДРАТОНАСЫЩЕННОСТИ МОРСКИХ ОСАДКОВ	Суетнова Е.И. 1 1 - ИФЗ РАН

	ОТ ОСОБЕННОСТЕЙ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА МОРСКОГО ДНА	
14.50-15.10	СОВРЕМЕННАЯ И ПАЛЕО-ФЛЮИДОРАЗГРУЗКА В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ: ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19	Соловьева М.А. 1,2, Видищева О.Н. 1, Ахманов Г.Г. 1, Монтелли А.И. 3 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ООО «Деко-геофизика»; 3 - Scott Polar Research Institute, University of Cambridge (UK)
15.10-15.30	СОСТАВ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГАЗОВ ИЗ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19)	Егошина Е.Д. 1, Видищева О.Н. 1, Полудеткина Е.Н. 1, Валиева Э.И. 1, Чевелёв В.К. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
15.30-15.50	ГГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ФЛЮИДОРАЗГРУЗКИ В СЕВЕРО_ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19	Видищева О.Н. 1, Егошина Е.Д. 1, Валиева Э.Э.1, Чевелев В.К. 1, Полудеткина Е.Н. 1, Ахманов Г.Г. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
15.50-16.10	ДЕТАЛЬНОЕ КАРТИРОВАНИЕ СУБАКВАЛЬНЫХ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	Токарев М.Ю. 1, 2, Бирюков Е.А. 2, Пирогова А.С. 1, Росляков А.Г. 1, Замотина З. 1 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова, 2 – ООО «СПЛИТ»
16.10-16.50	Дискуссия	

Круглый стол
Морские инновационные технологии

модераторы:	Токарев М.Ю. (МГУ им. М.В. Ломоносова)	Плешков А.Ю. (ООО "Морские инновации")
09.00-09.20	Открытие конференции. Приветственное слово Программного комитета	
09.20-09.40	КОМПЛЕКСНОЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ 3D КАРТИРОВАНИЕ МОРСКОГО ДНА	Плешков А.Ю. 1 1 - ООО «ГидроМаринн»
09.40-10.00	ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЙ, НА ПРИМЕРЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ И СИСТЕМ ПОДВОДНОЙ СВЯЗИ	Абеленцев А. 1 1 - ООО «Лаборатория подводной связи»
10.00-10.20	АВТОНОМНОЕ СУДОВОЖДЕНИЕ НА СУДАХ КОММЕРЧЕСКОГО ФЛОТА	Пинский А. 1 1 – ОЦ Маринет
10.20-10.40	ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПОИСКА И МОНИТОРИНГА БИОРЕСУРСОВ НА МЕЛКОВОДЬЕ	Пивнев П. 1 1 – ОО «Морские Инновации»
10.40-11.00	МЕТОДИКА 2D/3D МУЛЬТИЧАСТОТНЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА АКВАТОРИЯХ	Бирюков Е.А. 1 1 - ООО «СПЛИТ»
11.00-11.20	ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ 2D/3D МУЛЬТИЧАСТОТНЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ С БУКСИРУЕМЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ	Токарев М.Ю. 1, 2 1 – ЦАСД МГУ, 2 – МГУ им. М.В.Ломоносова
11.20-11.40	ТЕХНОЛОГИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ С ДОННЫМИ СЕЙСМИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ	Половков В. 1 1 – ЦКМИ СпбГУ
11.40-12.00	ЦИФРОВЫЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕРВИСЫ ДЛЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ	Шабалин Н.В. 1 1 - ЦМИ МГУ

	ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА АКВАТОРИЯХ	
12.00-12.20	Дискуссия	
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	
Морская биология		
модераторы:	**Дгебуадзе П.Ю. (ИПЭЭ РАН)**	**Мельникова В.А. (ЦМИ МГУ)**
13.30-13.50	Дискуссия	
13.50-14.10	АНАТОМИЯ ЦЕЛОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БРАХИОПОДЫ NOVOCRANIA ANOMALA	Пландин Ф.А. 1, Темерева Е.Н 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
14.10-14.30	ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КЛЕТОК В РЕГЕНЕРАЦИИ ИЗВЕСТКОВОЙ ГУБКИ LEUCOSOLENIA CF. VARIABILIS	Скоренцева К.В. 1, Лавров А.И. 2, Саидова А.А. 1 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 – ББС им. Н.А. Перцова
14.30-14.50	БИОРАЗНООБРАЗИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕЛАГИЧЕСКИХ АМФИПОД СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА	Осипова Д.Д. 1 1 – МГУ им. М.В.Ломоносова
14.50-15.10	ТОНКОЕ СТРОЕНИЕ ХОБОТА САМОК BONELLIA VIRIRDIS (ECHIURA)	Кузнецов П.А. 1, Темерева Е.Н. 1 1 – МГУ им. М. В. Ломоносова
15.10-15.30	ГИБРИДИЗАЦИЯ И ВИДОВОЙ СТАТУС ГИДРОИДНЫХ SARSIA В БЕЛОМ МОРЕ	Прудковский А.А. 1, Батрина Д.А. 1, Неретина Т.В. 1 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова
15.30-15.50	Дискуссия	
15.50-16.10	АНАЛИЗ МИКРОБИОМОВ КОЛЬЧАТЫХ ЧЕРВЕЙ СЕМЕЙСТВ TRICHOBRANCHIDAE И ORBINIIDAE КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ	Щербакова П.А. 1, Гавирова Л.А. 1, Попова А.А. 2, Ельченинов А.Г. 2, Шестаков А.И. 1, Кубланов И.В. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН
16.10-16.30	ОСОБЕННОСТИ ИНДУКЦИИ СТРОБИЛЯЦИИ AURELIA (SCYPHOZOA) В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ	Сухопутова А.В. 1,2, Краус Ю.А. 1,2 1 - МГУ им. М.В.Ломоносова; 2 - ИБР РАН
16.30-16.50	О ЩУПАЛЬЦАХ ВНУТРИПОРОШИЦЕВЫХ	Борисанова А.О. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
Гидрология		
модераторы:	**Субетто Д.А. (РГПУ имени А.И. Герцена, ИВПС КарНЦ РАН)**	**Демиденко Н.А. (ГОИН)**
09.00-09.20	Открытие конференции. Приветственное слово Программного комитета	
09.20-09.40	ИЗМЕНЕНИЕ ПАВОДОЧНОГО СТОКА РЕК БАССЕЙНА БАЙКАЛА В 1979–2018 ГГ.	Григорьев В.Ю. 1,2, Харламов М.А. 1,2, Семенова Н.К. 1, Сазонов А.А. 1,2, Чалов С.Р. 1 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 – ИВП РАН
09.40-10.00	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАННЫХ ОБ УРОВНЕ ВОДЫ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ КОЛЫМА)	Семенова Н.К. 1, Фролова Н.Л. 1, Захарова Е.А. 2 1 -МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИВП РАН
10.00-10.20	ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА ERA-5	Григорьев В.Ю. 1,2, Фролова Н.Л. 1, Киреева М.Б. 1, Степаненко В.М. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИВП РАН
10.20-10.40	ВНУТРИГОДОВОЕ И МНОГОЛЕТНЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК РОССИЙСКОЙ	Василенко А.Н. 1, Магрицкий Д.В. 1, Фролова Н.Л. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова

	АРКТИКИ И ИХ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА	
10.40-11.00	ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА КАСПИЙСКОГО МОРЯ ДО КОНЦА 21 ВЕКА ПО КЛИМАТИЧЕСКИМ СЦЕНАРИЯМ	Наурозбаева Ж.К. 1, Лобанов В.А. 2 1 – РГГМУ; 2 – РГП «Казгидромет»
11.00-11.20	ВЛИЯНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХ НА ТОЛЩИНУ НАМЕРЗНАНИЯ ЛЬДА ВБЛИЗИ ЯКУТСКА	Фролов Д.М. 1 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова
11.20-11.40	ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ЗИМНЕГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРИЛИВНОГО УСТЬЯ Р. ВАРЗУГИ	Ахмерова Н.Д. 1, Крастынь Е.А. 1, Куликова Ж.М. 1, Мигунов Д.А. 1, Панченко Е.Д. 1, Горин С.Л. 2, Терский П.Н. 1 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 – ВНИРО
11.40-12.20	Дискуссия	
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	
13.30-13.50	ЗИМНИЕ СТУДЕНЧЕСКИЕ ЭКСПЕДИЦИИ ГИДРОЛОГОВ МГУ В УСТЬЯ РЕК БЕЛОГО МОРЯ В 2014-2020 ГГ.	Терский П.Н. 1 , Алабян А.М. 1 , Горин С.Л. 2 , Демиденко Н.А. 3 , Панченко Е.Д. 1 , Попрядухин А.А. 1 , Фролова Н.Л. 1 1 – МГУ имени М.В. Ломоносова; 2 – ВНИРО; 3 – ГОИН
13.50-14.10	МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УСТЬЯХ РЕК ОНЕГИ И СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ	Панченко Е.Д. 1, Алабян А.М. 1,2, Крыленко И.Н. 1,2, Лебедева С.В. 3, Голосной Д.А. 2 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 – ИВП РАН; 3 – ФГБУ «Северное УГМС»
14.10-14.30	СКОЛЬКО В РОССИИ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ОЗЕР?	Краснова Е.Д. 1 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова
14.30-14.50	ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДООБРАЗУЮЩЕЙ РОЛИ МЕЛКОВОДНЫХ МЕТАНОВЫХ СИПОВ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ПРИМЕРЕ ДВУХ РАЙОНОВ (БУХТЫ ЛАСПИ И ГОЛУБАЯ)	Иванова И.Н. 1, Будников А.А. 1, Малахова Т.В. 2, Мурашова А.И. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ФИЦ ИнБЮМ
14.50-15.10	К ВОПРОСУ О ДИНАМИКЕ БЕРЕГОВ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	Санин А.Ю. 1 1 – ГОИН
15.10-16.30	Дискуссия	

Круглый стол
Арктические экспедиции: изучение морских млекопитающих России

модераторы:	**Глазов Д. (РОО "Совет по морским млекопитающим"**	**Артемьева С. (РОО "Совет по морским млекопитающим")**
09.00-09.20	Открытие конференции. Приветственное слово Программного комитета	
09.20-09.40	ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ НАРВАЛОВ В ВОДАХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ	Глазов Д.М. 1,2 1 - Совет по морским млекопитающим; 2 - ИПЭЭ РАН
09.40-10.00	ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОХОТОМОРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ ГРЕНЛАНДСКОГО КИТА	Шпак О.В. 1,2 1 - Совет по морским млекопитающим; 2 - ИПЭЭ РАН
10.00-10.20	ИССЛЕДОВАНИЯ КИТООБРАЗНЫХ В ТИХООКЕАНСКОМ СЕКТОРЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ	Филатова О.А. 1,2 1 - Совет по морским млекопитающим; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова
10.20-10.40	СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ МОРЖА И БЕЛОГО МЕДВЕДЯ АКВАТОРИИ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ	Артемьева С.М. 1,2 1 - Совет по морским млекопитающим; 2 - ИПЭЭ РАН
10.40-12.20	Дискуссия	
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	

	Морская биология	
модераторы:	**Исаченко А.И. (ООО «Арктический научный центр»)**	**Гебрук А.А. (ЦМИ МГУ)**
09.00-09.20	ПЛАНКТОН И БЕНТОС АЗОВСКОГО МОРЯ. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА.	Афанасьев Д.Ф. 1, Мирзоян З.А. 1, Сафронова Л.М. 1, Фроленко Л.Н. 1, Живоглядова Л.А. 1 1 - АзНИИРХ
09.20-09.40	НИЖНЯЯ ГРАНИЦА ДОННОЙ ФАУНЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ И ЕЕ ДИНАМИКА	Колючкина Г.А. 1, Семин В.Л. 1, Чикина М.В. 1, Басин А.Б. 1, Булышева Н.И. 2, Коваленко Е.П. 2, Бирюкова С.В. 3 1 - ИО РАН; 2 - ЮНЦ РАН; 3 - ММБИ РАН
09.40-10.00	МАКРОФИТЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ЕГО ЛАГУН	Герб М.А. 1, Володина А.А. 1 1 - ИО РАН
10.00-10.20	СВОБОДНОЖИВУЩИЕ И ПРИКРЕПЛЕННЫЕ ПРОКАРИОТЫ КАРСКОГО МОРЯ И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ	Романова Н.Д. 1, Беззубова Е.М. 1 1 - ИО РАН
10.20-10.40	ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ФРОНТАЛЬНОГО БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА В МЕЛКОВОДНОЙ ПРИЛИВНОЙ ЛАГУНЕ СУХОЕ МОРЕ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ	Мосеев Д.С. 1, Лещев А.В. 1, Сергиенко Л.А. 2 1 - ИО РАН; 2 - ИБЭАТ ПетрГУ
10.40-11.00	СООБЩЕСТВА ЗООБЕНТОСА ЖЕЛОБА ФРАНЦ-ВИКТОРИЯ И ШЕЛЬФА АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА ПО МАТЕРИАЛАМ ДРЕЙФА НЭС "АКАДЕМИК ТРЁШНИКОВ" ВЕСНОЙ 2019 Г.	Зимина О.Л. 1, Сёмин В.Л. 2 1 - ММБИ РАН; 2 - Южное отделение ИО РАН
11.00-11.20	ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ПОСЕЛЕНИЙ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ MYA ARENARIA L. В БЕЛОМ МОРЕ: НОВЫЕ ДАННЫЕ И ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ	Малова Д.С. 1, Герасимова А.В. 1, Максимович Н.В. 1, Филиппова Н.А. 1 1 - СПбГУ
11.20-11.40	БАЗА ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МОРЯХ РОССИИ: ЦЕЛИ СОЗДАНИЯ, ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ	Михлина А.Л. 1,2, Семенова М.И. 1, Кокорин А.И. 1, Коновалова О.П. 1, Шурыгина А.А. 1, Шабалин Н.В. 1 1 - ЦМИ МГУ; 2 - ББС им. Н.А. Перцова
11.40-12.00	МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ СООБЩЕСТВ НЕМАТОД В СЕЗОННЫХ ЛЬДАХ БЕЛОГО МОРЯ	Тимченко А.И. 1, Портнова Д.А. 1 1 - ИО РАН
12.00-12.20	Дискуссия	
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	

	Морская биология	
модераторы:	**Гебрук А.А. (ЦМИ МГУ)**	
13.30-13.50	ВНУТРИВИДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗМЕЕХВОСТОК OPHIURA SARSII LÜTKEN, 1855 В ПРЕДЕЛАХ АРКТИЧЕСКОГО И ТИХООКЕАНСКОГО БАССЕЙНОВ	Стратаненко Е.А. 1, Назарова С.А. 1, Смирнов И.С. 1 1 - ЗИН РАН
13.50-14.10	СУБГАЛОКЛИННЫЕ ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ	Ежова Е.Е. 1, Кочешкова О.В. 1, Багиров Н.Э.1 1 - ИО РАН
14.10-14.30	СЕЗОННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ МАССОВЫХ ВИДОВ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ЛИТОРАЛИ ГУБЫ КИСЛОЙ БЕЛОГО МОРЯ	Залота А.К. 1, Спиридонов В.А. 1 , Мокиевский В.О. 1 , Цетлин А.Б. 2 1 - ИО РАН; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова ; 3 - ИПЭЭ РАН
14.30-14.50	ОЦЕНКА КОМПОНЕНТОВ БЕНТИЧЕСКОЙ ПИЩЕВОЙ СЕТИ ГЛУБОКОГО ПРИБРЕЖНОГО	Спиридонов В.А. 1, Залота А.К. 1, Мокиевский В.О. 1, Дгебуадзе П.Ю. 2, Цетлин А.Б. 2

	ТРОГА БЕЛОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ И ТРАДИЦИОННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ТРОФИЧЕСКИХ ТИПАХ ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ	1 - ИО РАН; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова
Круглый стол **Выделение и картографирование сообществ (бентоса)**		
модераторы:	**Мокиевский В.О. (ИО РАН)**	**Исаченко А.И. (ООО «Арктический научный центр»)**
15.00-17.00	**Вопросы к обсуждению:** - как правильно отражать разнообразие бентоса на картах; - какие объекты и на каких основаниях можно наносить на карту; - возможна ли унификация подходов к выделению объектов и общей классификации бентоса? **К участию в обсуждении приглашены:** Ежова Е.Е., Кочешкова О.В., ВолодинаА.А., Шартон А.Ю., Багиров Н.Э., Штейн Д.В., Колючкина Г.А., Удалов А.А., Захаров Д.В., Манушин И.Е., Жирков И.А., Оленин С.Н.	
Морская геология Арктического бассейна		
модераторы:	**Новигатский А.Н. (ИО РАН)**	**Рыбалко А.Е. (СПбГУ, ФГБУ "ВНИИОкеангеология", ЦМИ МГУ)**
09.00-09.20	ОБРАЗОВАНИЕ ОСТРОВОВ НА ШЕЛЬФЕ МОРЕЙ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО- СИБИРСКОГО	Пижанкова Е.И. 1, Гаврилов А.В. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
09.20—09.40	ПРИМЕНЕНИЕ ОСЛ ДАТИРОВАНИЯ В ИЗУЧЕНИИ БЕРЕГОВЫХ ПРОЦЕССОВ	Курбанов Р.Н. 1,2, Семиколенных Д.В. 1,2, Бутузова Е.А. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИГ РАН
09.40-10.20	Дискуссия	
10.20-10.40	ОСОБЕННОСТИ ЛЕДНИКОВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА В ВОСТОЧНО-БАРЕНЦЕВОМОСКОЙ ВПАДИНЕ И В ЖЕЛОБЕ СЕДОВА ПО ДАННЫМ РЕЙСА TTR-19	Василевская Я.А. 1, Соловьева М.А. 1, Ахманов Г.Г. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
10.40-11.00	РЕЛЬЕФ ДНА И ПОЗДНЕВАЛДАЙСКОЕ ОЛЕДЕНИЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ	Мороз Е.А. 1, Кохан А.В. 2, Зарайская Ю.А. 1, Сухих Е.А. 1, Разумовский А.А. 1, Ананьев Р.А. 3 1 - ГИН РАН; 2 - ООО «Сварог»; 3 - ИО РАН
11.00-11.20	Дискуссия	
11.20-11.40	МОРФОДИНАМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ И РАЙОНИРОВАНИЕ БЕРЕГОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ	Ермолов А.А. 1, Кизяков А.И. 1, Илюшин Д.Г. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ЦМИ МГУ
11.40-12.00	КОНФИГУРАЦИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ	Монтелли А. 1, Соловьева М.А. 2, Ахманов Г.Г. 2 1 - Scott Polar Research Institute, University of Cambridge; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова
12.00-12.20	Дискуссия	
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	
13.30-13.50	ПРЯМЫЕ МЕТОДЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ В АРКТИКЕ	Полудеткина Е.Н. 1, Ахманов Г.Г. 1, Видищева О.Н. 1, Егошина Е.Д. 1, Валиева Э.Э. 1 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова
13.50-14.10	ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ МИКРОЧАСТИЦ В ПОСТУПЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ БЕЛОГО И КАРСКОГО МОРЕЙ	Шевченко В.П. 1, Боев А.Г. 1, Лохов А.С. 1, Стародымова Д.П. 1, Воробьев С.Н. 2, Крицков И.В. 2, Лим А.Г. 2, Новигатский А.Н. 1, Покровский О.С. 3,4

		1 - ИО РАН; 2 - НИ ТГУ; 3 - Geosciences and Environment Toulouse (Франция); 4- ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН
14.10-14.30	ПОСЛЕЛЕДНИКОВАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ БЕЛОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ МИКРОПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	Агафонова Е.А. 1,2, Полякова Е.И. 1, Новичкова Е.А. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИО РАН
14.30-14.50	ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА БЕЛОГО МОРЯ: ТИПИЧНЫЙ ПРИМЕР ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРОВА ДОННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ВО ВНУТРЕННИХ БАССЕЙНАХ ГЛЯЦИАЛЬНОЙ ЗОНЫ	Рыбалко А.Е. 1,2,3, Никонов К.А. 4, Парамонова М.С. 5 1 - ЦМИ МГУ; 2 - Институт наук о Земле СПБГУ; 3 - ИВПС КарНЦ РАН; 4 - ФГБУ ВСЕГЕИ; 5 - МАГЭ
14.50-15.10	Дискуссия	
15.10-15.30	ГЕОХИМИЯ ПОРОВЫХ ВОД ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ШЕЛЬФА БАРЕНЦЕВА МОРЯ В РАЙОНЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ	Казак Е.С. 1, Ахманов Г.Г. 1, Барковский М.Д. 1, Шиндина Н.Е. 1, Даниленко А.С. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
15.30-15.50	ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКИХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ ВБЛИЗИ СТОКА РЕКИ ИНДИГИРКИ	Винникова А.И. 1, Душенко Н.В. 1, Севастьянов В.С. 1, Кузнецова О.В. 1, Федулов В.С. 1, Федулова В.Ю. 1 1 - ГЕОХИ РАН
15.50-16.10	ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19)	Валиева Э.И. 1, Видищева О.Н. 1, Полудеткина Е.Н. 1, Егошина Е.Д. 1, Чевелев В.К. 1, Ахманов Г.Г. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
16.10-16.30	ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОСАДКОВ В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ	Гинзбург К.А. 1, Корост С.Р. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
16.30-16.50	Дискуссия	
Подводное культурное наследие		
модераторы:	**Фазлуллин С.М. (РГГУ)**	
09.00-09.20	КАСПИЙСКОЕ МОРЕ: ИСТОРИЯ ПОДВОДНО-АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ	Котеньков С.А.
09.20-09.40	UNDERWATER ARCHAEOLOGY OF CYPRUS ISLAND: HISTORY AND METHODOLOGY OF SURVEYS	Атеш М.А. 1 1 - РГГУ
09.40-10.00	ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ: ПРОБЛЕМЫ И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ	Горлов И.О. 1, Статкус М.А. 2 1 - ЦМИ МГУ; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова
10.00-10.20	О НАХОДКЕ ДЕРЕВЯННОГО СУДНА В МЕЛКОВОДНОЙ ЗОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	Манукян Ю.А. 1, Мажейка Йонас 2, Ежова Е.Е. 3,4 1 - Институт Балтийского моря; 2 - Центр исследования природы; 3 - СПбНЦРАН; 4 - Калининградское отделение РГО
10.20-10.40	НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДВОДНЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПОРТОВОМ РАЙОНЕ ХЕРСОНЕСА ТАВРИЧЕСКОГО В 2020 г	Букатов А.А. 1, Варлагин В.В. 1, Ткаченко Ю.Г. 2, Хохлов С.А. 3 1 - ФГБУК «Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический»; 2 - Студия «Парус и море»; 3 - ООО "Лаборатория сетевых технологий"
10.40-11.00	ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОДВОДНОГО ПРОСТРАНСТВА	Боровиков П.А. 1 1 – Подводно-историческое общество

11.00-11.20	МОРСКАЯ АРХЕОЛОГИЯ В СЕВАСТОПОЛЬСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ	Вахонеев В.В. 1 1 - СевГУ
11.20-11.40	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПРОГРАММАХ ПОДГОТОВКИ В ОБЛАСТИ МОРСКОЙ И ПОДВОДНОЙ АРХЕОЛОГИИ В АНГЛОГОВОРЯЩИХ СТРАНАХ И РОССИИ	Николаев И.Р. 1, Горлов И.О. 2 1 - Культурно-исторический центр «Светоч»; 2 - ЦМИ МГУ
11.40-12.00	ПРОЕКТ СОЗДАНИЯ СЕРИИ ДОКУМЕНТАЛЬНЫХ ФИЛЬМОВ О ПОДВОДНОЙ АРХЕОЛОГИИ	Ткаченко Ю.Г. 1, Хохлов С.А. 1, Горлов И.О. 1, Бардашов М.Н. 1, Садеков Р.Н. 1
12.00-12.20	МОРСКОЕ И ПОДВОДНОЕ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ РОССИИ В СРЕДИЗЕМНОМ МОРЕ	Мозговой С.А.
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	

28 октября 2020 ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

Морская геология		
модераторы:	**Новигатский А.Н. (ИО РАН)**	**Рыбалко А.Е. (СПбГУ, ФГБУ «ВНИИОкеангеология», ЦМИ МГУ)**
09.00-09.20	СТРОЕНИЕ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОГО ХРЕБТА (ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)	Толстова А.И. 1, Дубинин Е.П. 2, Грохольский А.Л. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова, Музей Землеведения
09.20-09.40	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КРАЕВЫХ ПЛАТО И МИКРОКОНТИНЕНТОВ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ	Агранов Г.Д. 1,2, Дубинин Е.П. 1, Грохольский А.Л. 1, Макушкина А.И. 3 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова, Музей Землеведения, 2 - ГИН РАН, 3 - The Australian National University
09.40-10.00	ЭПОХИ ГЛОБАЛЬНЫХ ОЛЕДЕНЕНИЙ И ЭТАПЫ ГИДРОТЕРМЛАЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПРЕДЕЛАХ СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОГО ХРЕБТА	Мусатов А.Е. 1, Черкашёв Г.А. 1,2 1 - ФГБУ ВНИИОкеангеология; 2 - Институт Наук о Земле СПбГУ
10..00-10.20	МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТСТУПАНИЯ БЕРЕГА В РЕЗУЛЬТАТЕ СУБДУКЦИОННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО МОДЕЛИ БРУУНА-ЗЕНКОВИЧА	Хомчановский А.Л. 1 1 - Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
10.20-10.40	КАРТИРОВАНИЕ SDR (SEAWARD DIPPING REFLECTORS) В АКВАТОРИИ ПОДНЯТИЯ МЕНДЕЛЕЕВА	Родина Е.А. 1, Никишин А.М. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
10.40-11.00	МОРФОДИНАМИКА БЕРЕГА, СЛОЖЕННОГО ПИРОКЛАСТИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛОМ (НА ПРИМЕРЕ О. ИТУРУП КУРИЛЬСКОГО АРХИПЕЛАГА)	Дунаев Н.Н. 1, Леонтьев И.О. 1, Афанасьев В.В. 2, Репкина Т.Ю. 3 1 - ИО РАН; 2 - ИМГиГ ДВО РАН; 3 - МГУ им. М.В. Ломоносова
11.00-11.20	АБИССАЛЬНЫЕ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫЕ КОНКРЕЦИИ: ЛОКАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СТРУКТУРУ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ	Лыгина Т.И. 1, Миноранский Д.Е. 1, Сапрыкин С.С. 1 1 - АО «Южморгеология»
11.20-11.40	ГГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ОБВАЛОВ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ И ОЦЕНКА ИХ ОПАСНОСТИ	Миронюк С.Г. 1 1 - ЦАСД МГУ
11.40-12.00	ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СОВРЕМЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ КАСПИЙСКОГО МОРЯ	Путанс В.А. 1 1 - ИО РАН
12.00-12.20	ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОТБОРА ПРОБ (коммерческая презентация)	Ялда К.Д. 1 1 - ООО "НФТ "Вольта"
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	

13.30-13.50	ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В СНЕЖНО-ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ, ПОЧВЕ И МХАХ В РАЙОНЕ АНТАРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ РФ	Немировская И.А. 1, Артемьев В.А. 1, Кравчишина М.Д.1, Титова А.М. 1 1 - ИО РАН
13.50-14.10	ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ОКЕАНОЛОГИИ И МОРСКОЙ ГЕОЛОГИИ	Рейхард Л.Е. 1, Козина Н.В. 1, Дара О.М. 1, Боев А.Г. 1, Новичкова Е.А. 1, Шульга Н.А. 1, Рейхард А.Г. 2 1 - ИО РАН; 2 - ОК «Юго-Запад»
14.10-14.30	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В МОРСКОЙ ВОДЕ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ НА ПРИМЕРЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ	Лохов А.С. 1, Кравчишина М.Д. 1, Клювиткин А.А. 1, Коченкова А.И. 1 1 - ИО РАН
14.30-14.50	ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОТОКИ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ	Новигатский А.Н. 1, Шевченко В.П. 1, Клювиткин А.А. 1, Кравчишина М.Д. 1, Политова Н.В. 1 1 - ИО РАН
14.50-15.10	УГЛЕВОДОРОДЫ-БИОМАРКЕРЫ В МОРСКИХ ОСАДКАХ СИПОВОГО ПОЛЯ «ОДЕН» МОРЯ ЛАПТЕВЫХ	Винникова А.И. 1, Федулов В.С. 1, Севастьянов В.С. 1, Федулова В.Ю. 1, Душенко Н.В. 1 1 - ГЕОХИ
15.10-15.30	ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ВОДЕ И ВЗВЕСИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ 4-Х ЛЕТНИХ НЕПРЕРЫВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	Гордеев В.В. 1, Стародымова Д.П. 1 1 - ИО РАН
15.30-15.50	ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ Sr И Nd МИНЕРАЛЬНЫХ ФАЗ ЖМО СМЕШАННОГО СОСТАВА	Михайлик П.Е. 1, Вишневская И.А. 2, Окунева Т.Г. 3, Солошенко Н.Г. 3, Рашидов В.А. 4 1 - ДВГИ ДВО РАН; 2 - ГЕОХИ РАН; 3 - ИГГ УрО РАН; 4 - Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
15.50-16.10	ОСОБЕННОСТИ АУТИГЕННОГО МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ В ГОЛОЦЕНОВЫХ ДОННЫХ ОСАДКАХ ГЛУБОКОВОДНЫХ ВПАДИН ЧЕРНОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ В РАЙОНАХ СЕРОВОДОРОДНОГО ЗАРАЖЕНИЯ	Козина Н.В. 1, Рейхард Л.Е. 1, Дара О.М. 1, Стародымова Д.П. 1, Коченкова А.И. 1 1 - ИО РАН
16.10-16.30	ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ КАСПИЯ В ГОЛОЦЕНЕ	Янина Т.А. 1 1 - МГУ им. М.В.Ломоносова
16.30-16.50	ГЕОХИМИЧЕСКИЕ, МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ	Демина Л.Л. 1, Дара О.М. 1, Алиев Р.А. 2, Алексеева Т.Н. 1, Будько Д.Ф. 1, Новичкова Е.А. 1, Политова Н.В. 1, Соломатина А.С. 1 1 - ИО РАН; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова

Морская биология

модераторы:	Колючкина Г.А. (ИО РАН)	Залота А.К. (ИО РАН)
09.00-09.20	ЭКСПРЕСС-МЕТОД ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МОРСКИХ ОКУНЕЙ РОДА SEBASTES АТЛАНТИЧЕСКОГО И СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНОВ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА	Артамонова В.С. 1, Рольский А.Ю. 2,3, Махров А.А. 1 1 - ИПЭЭ РАН; 2 - ПИНРО; 3 - МГТУ
09.20-09.40	СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА КИСЛО-СЛАДКОЕ, ЧАСТИЧНО ИЗОЛИРОВАННОГО ОТ БЕЛОГО МОРЯ, В НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЕ ИЗОЛЯЦИОННОЙ СУКЦЕССИИ	Иванова Д.А. 1, Краснова Е.Д. 1, Воронов Д.А. 1,2, Радченко И.Г. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИППИ РАН

09.40-10.00	Дискуссия	
10.00-10.20	ХАРАКТЕРИСТИКА ПИТАНИЯ ВЗРОСЛОЙ ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ GASTEROSTEUS ACULEATUS (LINNAEUS, 1758) НА НЕСТИЛИЩАХ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ	Демчук А.С. 1,2, Иванов М.В. 1, Иванова Т.С. 1, Полякова Н.В. 1, Лайус Д.Л. 1 1 - СПбГУ; 2 - ЗИН РАН
10.20-10.40	СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ И ИНДЕКСА РАЗНООБРАЗИЯ ИХТИОПЛАНКТОНА ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	Карасева Е.М. 1, Ежова Е.Е. 2 1 - АтлантНИРО; 2 - ИО РАН
10.40-11.00	ПИЩЕВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ТРЁХИГЛОЙ КОЛЮШКИ (GASTEROSTEUS ACULEATUS L.) С ДРУГИМИ ВИДАМИ РЫБ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	Смирнова К.А. 1, Демчук А.С. 1, Иванов М.В. 1, Иванова Т.С. 1, Лайус Д.Л. 1 1 - СПбГУ
11.00-11.20	ВИДЫ-ВСЕЛЕНЦЫ В ЛЕТНЕМ ЗООПЛАНКТОНЕ РАЗНЫХ РАЙОНОВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	Полунина Ю.Ю. 1, Уткина Я.В. 1 1 - ИО РАН
11.20-11.40	ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ	Удовик Д.А. 1, Шабалин Н.В. 1, Турчин Р.В. 2, Доценко Б.А. 2 1 - ЦМИ МГУ; 2 - ООО «Газпромнефть-Сахалин»
11.40-12.00	МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ КИСЛОЙ ГУБЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ НА БИОКОРРОЗИЮ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	Брюханов А.Л. 1, Власов Д.Ю. 2, Няникова Г.Г. 3, Лаптев А.Б. 4, Царовцева И.М. 5 1 – МГУ им. Ломоносова; 2 СПбГУ; 3 – СПбГТИ; 4 – ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ; 5 – АО «ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева»
12.00-12.20	Дискуссия	
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	

Морская биология

модераторы:	**Мельникова В.А. (ЦМИ МГУ)**	
13.30-13.50	МИКРОБИОМ КИШЕЧНИКА РЫБ БЕЛОГО МОРЯ, ВЫЯВЛЕННЫЙ МЕТОДОМ МЕТАБАРКОДИНГА ПО 16S рРНК	Бурцева О.И. 1, Кублановская А.А. 1, Федоренко Т.А. 1, Лобакова Е.С. 1, Чеканов К.А. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
13.50-14.10	МИКРОБНОЕ СООБЩЕСТВО ЦИКЛА МЕТАНА ВОДНОЙ ТОЛЩИ МЕРОМИКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА БОЛЬШИЕ ХРУСЛОМЕНЫ	Саввичев А.С. 1, Кадников В.В. 1, Русанов И.И. 1 1 - ФИЦ Биотехнологии РАН
14.10-14.30	ФЕРМЕНТАТИВНЫЕ СВОЙСТВА МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ, ДО И ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ	Гладкова К.О. 1, Ким А.В. 1,2, Богатыренко Е.А. 1 1 - ДВФУ; 2 - ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН
14.30-14.50	РАЗЛОЖЕНИЕ КЛАДОФОРЫ: НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В СОЛЕНОМ ОЗЕРЕ – ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ	Басова М.М. 1, Празукин А.В. 1, Фирсов Ю.К. 1 1 - ФИЦ ИнБЮМ
14.50-15.10	ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ СТУДЕНИСТОГО МАКРОЗООПЛАНКТОНА НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ	Луппова Н.Е. 1 1 - ЮО ИО РАН
15.10-15.30	ЧТО МЫ ЗНАЕМ О САМЦАХ БЕЛОМОРСКОГО КАЛЯНУСА? ЛЮБОПЫТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ САМЦОВ АРКТИЧЕСКИХ КОПЕПОД	Кособокова К.Н. 1 1 – ИО РАН

15.30-15.50	ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ КРАБОИДОВ СЕМЕЙСТВА LITHODIDAE В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА	Аносов С.Е. 1 1 – ООО Каскад-Приморье
15.50-16.50	Дискуссия	
Океанология		
модераторы:	**Демидов А.Н. (МГУ им. М.В. Ломоносова)**	**Крашенинникова С.Б. (ФИЦ ИнБЮМ)**
09.00-09.20	Дискуссия	
09.20-09.40	ОСОБЕННОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЧЕРНОГО МОРЯ В 2019 Г.	Жукова С.В. 1, Лутынская Л.А. 1, Шишкин В.М. 1, Карманов В.Г. 1, Подмарева Т.И. 1, Бурлачко Д.С. 1, Безрукавая Е.А. 1, Фоменко И.Ф. 1 1 - АзНИИРХ
09.40-10.00	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ С ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ В РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА	Боровская Р.В. 1, Кривогуз Д.О. 1, Кочергин А.Т. 1 1 - АзНИИРХ
10.00-10.20	МЕТОД ПРОФИЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОХАЛИННЫХ КОЛЕБАНИЙ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ МОРСКОЙ СРЕДЕ	Краснодубец Л.А. 1,2 1 - СГУ; 2 - ИПТС
10.20-10.40	КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИНДЕКСЫ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА И ИХ ЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЫБОПРОМЫСЛОВОГО БАССЕЙНА РОССИИ	Хен Г.В. 1, Устинова Е.И. 1, Сорокин Ю.Д. 1 1 - ТИНРО
10.40-11.00	РОЛЬ ОКЕАНИЧЕСКИХ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ ВОЛН В ФОРМИРОВАНИИ ТЕПЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ, ПОГОДЫ И КЛИМАТА ЗЕМЛИ	Бондаренко А.Л. 1, Архипкин В.С. 2, Мысленков С.А. 2 1 - ИВП РАН; 2 - МГУ им М.В. Ломоносова
11.00-11.20	ВЗАИМОСВЯЗИ ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГЛУБИНАХ ОКЕАНОВ С ГЛОБАЛЬНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИЕЙ	Серых И.В. 1, Сонечкин Д.М. 1 1 - ИО РАН
11.20-11.40	СЕЗОННЫЕ И МЕЖДЕКАДНЫЕ ВАРИАЦИИ ДИСПЕРСИИ СИНОПТИЧЕСКИХ И МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	Медведев И.П. 1, Медведева А.Ю. 1 1 - ИО РАН
11.40-12.00	ДИНАМИКА ТЕЧЕНИЙ В СУБПОЛЯРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С МОДЕЛЬЮ NEMO/ SI3 И УСВОЕНИЕМ ДАННЫХ	Струков Б.С. 1, Реснянский Ю.Д. 1, Зеленько А.А. 1, Степанов В.Н. 1 1 - ФГБУ "ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ"
12.00-12.20	ПРАКТИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ ЭФФЕКТЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ШТОРМОВЫХ ВОЛН В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ МОРЯ	Кузнецов С.Ю. 1, Сапрыкина Я.В. 1 1 - ИО РАН
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	
13.30-13.50	ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЕРЕНОСА ДОННЫХ ВОД В РАЗЛОМЕ ВИМА	Гиппиус Ф.Н. 1, Демидов А.Н. 1, Иванов А.А. 1 1 - МГУ им. М.В.Ломоносова
13.50-14.10	ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК АНТАРКТИЧЕСКОЙ ДОННОЙ ВОДНОЙ МАССЫ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ	Крашенинникова С.Б. 1, Демидов А.Н. 2, Иванов А.А. 2 1 - ФИЦ ИнБЮМ; 2 - МГУ им. М.В.Ломоносова
14.10-14.30	ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В ТИХООКЕАНСКОМ СЕКТОРЕ АНТАРКТИКИ В 65-Й	Антипов Н.Н. 1, Кашин С.В. 1, Молчанов М.С. 1 1 - ААНИИ

	СЕЗОННОЙ РОССИЙСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ	
14.30-14.50	ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ВОД ЗАЛИВА ПРЮДС, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИКА	Чистяков И.А. 1 1 - ААНИИ
14.50-15.10	ПОВТОРЯЕМОСТЬ ШТОРМОВОГО ВОЛНЕНИЯ В КАРСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ	Мысленков С.А. 1,2, Платонов В.С. 1, Сильвестрова К.П. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИО РАН
15.10-15.30	ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ (ОБЗОР)	Нестеров Е.С. 1 1 - Гидрометцентр России
15.30-15.50	ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ В РАЙОНАХ ЖЕЛОБА СВЯТОЙ АННЫ И НОВОЙ ЗЕМЛИ	Полухин А.А. 1, Чульцова А.Л. 1, Кременецкий В.В. 1, Муравья В.О. 1

Рациональное природопользование		
модераторы:	**Спиридонов В.А. (ИО РАН)**	**Загретдинова Д.Р. (ЦМИ МГУ)**
09.40-10.00	ВКЛАД СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ В ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И НУТРИЕНТАМИ	Михневич Г.С. 1, Кречик В.А. 2, Крек А.В. 2, Данченков А.Р. 2 1 - БФУ им. И. Канта; 2 - АО ИО РАН
10.00-10.20	СОВРЕМЕННЫЙ БИОТРАНСПОРТ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ТИХООКЕАНСКИМИ ЛОСОСЯМИ	Цыганков В.Ю. 1,2, Донец М.М. 1, Гумовский А.Н. 1, Гумовская Ю.П. 1, Боярова М.Д. 1, Христофорова Н.К. 2 1 - Школа биомедицины ДВФУ; 2 - Школа естественных наук ДВФУ
10.20-10.40	РОЛЬ ФУКУСОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В БИОРЕМЕДИАЦИИ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ПРИМЕРЕ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ	Воскобойников Г.М. 1, Малавенда С.В. 1, Метелькова Л.О. 2 1 - ММБИ РАН; 2 - СПБ ФИЦ РАН
10.40-11.00	О ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОДОРОСЛЕЙ FUCUS VESICULOSUS БАРЕНЦЕВА МОРЯ К СОРБЦИИ И ДЕСТРУКЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА	Пуговкин Д.В. 1, Воскобойников Г.М. 1, Метелькова Л.О. 2 1 - ММБИ РАН; 2 - СПБ ФИЦ РАН
11.00-11.20	СООБЩЕСТВА МАКРОФИТОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА: НЕКОТОРЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	Жигульский В.А. 1, Шуйский В.Ф. 1, Чебыкина Е.Ю. 1, Паничев В.В. 1, Булышева М.М. 1 1 - ООО «Эко-Экспресс-Сервис»
11.20-12.20	Дискуссия	
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	
13.30-13.50	АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДНОЙ СИСТЕМЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА	Мартынова А.Э. 1, Шалунова Е.П. 1, Иванова Е.В. 2, Тихонова Д.А. 2 1 - СПбГУ; 2 - ИНОЗ РАН
13.50-14.10	ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ПРИБРЕЖНО-МОРСКОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА И СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКИ	Педченко А.П. 1, Блиновская Я.Ю 2, Кантаков Г.А. 3, Гаврило М.В. 4 1 - ВНИРО; 2 - ДВФУ; 3 - НПО «ДЭКО»; 4 - Ассоциация «Морское наследие: исследуем и сохраним»

14.10-14.30	КОММЕРЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРЕНЛАНДСКОГО ТЮЛЕНЯ	Филиппова А.В. (фрилансер)
14.30-14.50	ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА «ПРИГОРОДНОЕ»	Харыбина А.С. 1, Казаков А.Д. 1, Юмашева А.К. 1 1 - РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
14.50-15.00	Дискуссия	
Круглый стол Морские и приморские особо охраняемые природные территории: значение для исследований динамики морских экосистем, платформа для научного сотрудничества, проблемы управления и создания		
модераторы:	**Спиридонов В.А. (ИО РАН)**	
15.15-17.15	ПЕРВЫЙ ОПЫТ ВЫДЕЛЕНИЯ СЕТИ ПРИОРИТЕТНЫХ РАЙОНОВ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЯХ РОССИИ	Соловьёв Б.А. 1 1 - WWF России
	ЗНАЧИМОСТЬ ИХТИОФАУНЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОРСКИХ ООПТ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ	Чернова Н.В. 1 1 - ЗИН РАН
	ПРАКТИКА СОЗДАНИЯ МОРСКИХ ООПТ В РОССИИ - ОТ ВЫЯВЛЕНИЙ ПРИОРИТЕТНЫХ РАЙОНОВ ДО ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ	Соловьёв Б.А. 1 1 - WWF России
	СОЗДАНИЕ НОВОГО ТИПА ПРИБРЕЖНЫХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ (ООПТ) – ГЕОПАРКА ТЕРРАСОВОГО ТИПА В ЮГО-ВОСТОЧНОМ КРЫМУ	Чепалыга А.Л. 1, Адаева Д.О. 1 1 - ИГ РАН
	О ПРОБЛЕМЕ СОЗДАНИЯ В АНТАРКТИКЕ МОРСКИХ ОХРАНЯЕМЫХ РАЙОНОВ (МОР) ПОД УПРАВЛЕНИЕМ АНТКОМ	Кухарев Н.Н. 1 1 - АзНИИРХ
Семинар Геология крупных озер		
модераторы:	**Суббето Д.А. (РГПУ имени А.И. Герцена, ИВПС КарНЦ РАН)**	**Рыбалко А.Е. (СПбГУ, ФГБУ "ВНИИОкеангеология", ЦМИ МГУ)**
09.00-09.20	ГРЯЗЕВОЙ ВУЛКАНИЗМ МОЛОДЫХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ	Кудаева А.А.1, Ахманов Г.Г. 1, Хлыстов О.М. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ЛИН СО РАН
09.20-09.40	СКЛОНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОТЛОЖЕНИЯ РАЙОНА АВАНДЕЛЬТЫ Р. СЕЛЕНГА (ОЗ. БАЙКАЛ)	Соловьева М.А. 1, Ахманов Г.Г. 1, Кудаев А.А. 1, Буланова И.А. 1, Хлыстов О.М. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ЛИН СО РАН
09.40-10.00	Дискуссия	
10.00-10.20	РОЛЬ ГЛЯЦИАЛЬНЫХ И СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ ОБЛИКА РЕЛЬЕФА ДНА КРУПНЕЙШИХ ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДА И ВНУТРЕННИХ МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ ПЕРИФЕРИИ БАЛТИЙСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЩИТА	Рыбалко А.Е. 1,2,3, Субетто Д.А. 3,4, Аксенов А.О. 2, Беляев П.Ю. 5, Токарев М.Ю. 6, Старовойтов А.В. 6 1 - ЦМИ МГУ; 2 - Институт наук о Земле СПБГУ; 3 - ИВПС КарНЦ РАН; 4 - РГПУ им. А.И. Герцена; 5 - ФГБУ ВСЕГЕИ; 6 - МГУ им М.В. Ломоносова
10.20-10.40	РАЗРЕЗ ВЕРХНЕОПЛЕЙСТОЦЕН-ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА	Беляев П.Ю. 1,2, Рыбалко А.Е. 1,2, Зобков М.Б. 2 1 - ФГБУ «ВНИИОкеангеология» им. И.С. Грамберга; 2 - ИВПС КарНЦ РАН

10.40-11.00	КАРТА ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА: РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ В 2016-2019 Г.Г	Рыбалко А.Е. 1,2,3, Токарев М.Ю. 4, Субетто Д.А. 3,4, Беляев П.Ю. 3,5,6, Белкина Н.А. 3, Страховенко В.Д. 7, Полудеткина Е.Н. 4, Корост С.Р.1, Алешин М.Ю. 4, Миринец А.К. 4, Кузнецов В.Ю. 2., Савельева Л.А. 2. 1 - ЦМИ МГУ; 2 - Институт наук о Земле СПБГУ, 3 - ИВПС КарНЦ РАН, 4 - МГУ им М.В. Ломоносова, 5 - РГПУ им. А.И. Герцена, 6 - ФГБУ ВСЕГЕИ, 7 - ИГМ СО РАН
11.00-11.20	ОТ ПРОЛИВА ДО МЕРОМИКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА: ОЗЕРО КИСЛО-СЛАДКОЕ (ГУБА РУГОЗЕРСКАЯ, БЕЛОЕ МОРЕ) КАК МОДЕЛЬ ЭВОЛЮЦИИ РЕЛЬЕФА И ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ ВОДОЕМОВ ФИАРДОВО-ШХЕРНЫХ ПОБЕРЕЖИЙ	Репкина Т.Ю. 1, Краснова Е.Д. 1, Шилова О.С. 1, Энтин А.Л. 1, Григорьев В.А. 2, Вахрамеева Е.А. 3, Лосюк Г.Н. 3, Воронов Д.А. 4,5, Ефимова Л.Е. 1, Корзинин Д.В. 6, Кублицкий Ю.А. 7, Леонтьев П.А. 7, Луговой Н.Н. 1, Мардашова М.В. 8, Фролова Н.Л. 1 1 - МГУ им. М.В.Ломоносова; 2 - СПбГУ; 3 - ФИЦКИА РАН; 4 - ИППИ РАН; 5 - НИИ ФХБ им. А.Н. Белозерского МГУ; 6 - ИО РАН; 7 - РГПУ им. А.И. Герцена; 8 - ЦМИ МГУ
11.20-11.40	РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПРИДОННЫХ ОСАДКОВ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА	Алешин М.И. 1 1 – ООО «СПЛИТ»
11.40-12.20	Дискуссия	
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	

Гидрографические и геофизические исследования на акваториях Баренцева, Карского и Белого морей

модераторы:	**Токарев М.Ю. (МГУ им. М.В. Ломоносова)**	
13.30-13.50	СВЯЗЬ ВЕЛИЧИН РАДИОГЕННОЙ ТЕПЛОГЕНЕРАЦИИ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ С ПРОЯВЛЕНИЯМИ ДЕГАЗАЦИИ В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ И ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО РЕГИОНА	Сухих Е.А. 1, Мороз Е.А. 1, Абрамова А.С. 1 1 - ГИН РАН
13.50-14.10	ПРЕИМУЩЕСТВА МОРСКОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ МАГНИТОРАЗВЕДКИ В АРКТИКЕ	Лыгин И.В. 1 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова
14.10-14.30	РЕЗУЛЬТАТЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОННЫХ ОСАДКОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ TTR-19)	Буланова И.А. 1, Соловьева М.А. 1, Ахманов Г.Г. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
14.30-14.50	ИНВЕРСИЯ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ВЫСОКОГО И СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИДОННЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОВОДНОГО ШЕЛЬФА КАРСКОГО МОРЯ	Пирогова А.С. 1, Сучкова А.В. 1, Шилова М.А. 1, Токарев М.Ю. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
14.50-15.10	СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ С ДОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА ПРЕДЕЛЬНОМ МЕЛКОВОДЬЕ	Потемка А.К. 1, Белов М.В. 1, Половков В.В. 2,3 1 - ООО «СПЛИТ»; 2 - СПбГУ; 3 - ООО «ЦКМИ» СПбГУ
15.10-15.30	КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ НАЛЕДНЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ И МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ	Широкова Т.П. 1, Лыгин И.В. 1, Токарев М.Ю. 1, Золотая Л.А. 1, Соколова Т.Б. 1, Кузнецов К.М. 1, Фадеев А.А. 1, Арутюнян Д.А. 1, Любицкая А.В. 1, Шклярук А.Д. 1

	НАБЛЮДЕНИЙ И МОРСКОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ	1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
15.30-15.50	РЕЗУЛЬТАТЫ ТРЕХМЕРНЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ	Хачатрян А.М. 1, Бирюков Е.А. 1, Иванова В.В. 1, Токарев М.Ю. 2 1 - ООО «Сплит»; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова
15.50-16.10	КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ С ДОННЫМ И БУКСИРУЕМЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ В ГУБЕ РУГОЗЕРСКОЙ КАНДАЛАКШКСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ	Белов М.В. 1, Субботин Д.Д. 2 1 - ООО «СПЛИТ»; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова
16.10-16.30	ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПРОЛИВЕ ВЕЛИКАЯ САЛМА	Терехина Я.Е. 1, 2, Токарев М.Ю. 1, Галаев В. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова, 2 - ООО "Моринтех"
16.30-16.50	ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА МЕЛКОВОДОМ ШЕЛЬФЕ	Токарев М.Ю. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
Геофизика		
модераторы:	**Лыгин И.В. (МГУ им. М.В. Ломоносова)**	
09.00-09.20	ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЛОКАЛЬНОГО УЧАСТКА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОЙ СКВАЖИНЫ SK-6 В ЧЕРНОМ МОРЕ (ТУРЦИЯ)	Якимчук Н.А. 1, Корчагин И.Н. 2 1 - ООО «Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии»; 2 - Институт геофизики им. С.И. Субботина НАНУ
09.20-09.40	ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПОЛУУЧЕНИЯ ПРИТОКОВ ГАЗА В ПРЕДЕЛАХ СТУРКТУРНОГО ПОДНЯТИЯ PENSACOLA В СЕВЕРНОМ МОРЕ (БЛОК P2252)	Якимчук Н.А. 1, Корчагин И.Н. 2 1 - ООО «Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии»; 2 - Институт геофизики им. С.И. Субботина НАНУ
09.40-10.00	Дискуссия	
10.00-10.20	НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ЮЖНЫХ КУРИЛ	Блох Ю.И. 1, Бондаренко В.И. 2, Долгаль А.С. 3, Новикова П.Н. 3, Петрова В.В. 4, Пилипенко О.В. 5, Рашидов В.А. 6, 7, Трусов А.А. 8 1 - Москва; 2 - Костромской ГУ; 3 - ГИ УрО РАН; 4 - ГИН РАН; 5 - ИФЗ РАН; 6 - Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН; 7 - ДВГИ ДВО РАН; 8 - АО «ГНПП Аэрогеофизика»
10.20-10.40	О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ «ГАЗОФЛЮИДНЫХ ТРУБ» НА КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВОД КАСПИЯ	Путанс В.А. 1, Тримонова М.А. 2, Мерклин Л.Р. 1 1 - ИО РАН; 2 - ИДГ РАН
10.40-11.00	Дискуссия	
11.00-11.20	СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ ГРАВИТАЦИОННОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТРОЕНИЯ ТЕКТОНОСФЕРЫ ЮГО-ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА ЮЖНОЙ АТЛАНТИКИ	Рыжова Д.А. 1, Булычев А.А. 1, Дубинин Е.П. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова, Музей землеведения
11.20-11.40	ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В КРУГОСВЕТНОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ ВМФ НА ОИС «АДМИРАЛ ВЛАДИМИРСКИЙ»	Арутюнян Д.А. 1,2, Лыгин И.В. 1, Кузнецов К.М. 1, Булычев А.А. 1, Грушников И.Ю. 1, Шклярук А.Д. 1, Вишняков Д.Д. 1, Минлигареев В.Т. 2, Паньшин Е.А. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИПГ
11.40-12.00	ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛНОВОДА ПЕКЕРИСА В КАЧЕСТВЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ	Колигаев С.О. 1,2, Колигаев О.А. 3 1 - Государственный Университет «Дубна»; 2 - ООО «Лаборатория прикладных информационных технологий «Инфрад»; 3 - Федеральный центр науки и высоких технологий «СНПО «Элерон»

12.00-12.20	Дискуссия	
12.20-13.30	**Обеденный перерыв**	
Геофизика		
модераторы:	**Тихоцкий С.А. (ИФЗ РАН)**	
13.30-.13-50	РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КАТАМАРАН ДЛЯ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	Ченский Д.А. 1, Григорьев К.А. 1, Золотарев Н.С. 1, Ченский А.Г. 1 1 - ИРНИТУ
13.50-14.10	ПЛОТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ	Арутюнян Д.А. 1, Лыгин И.В. 1, Соколова Т.Б. 1, Кузнецов К.М. 1, Широкова Т.П. 1, Шклярук А.Д. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
14.10-14.30	АНАЛИТИЧЕСКАЯ S - АППРОКСИМАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ И РЕЛЬЕФА ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ БЛОЧНОГО КОНТРАСТИРОВАНИЯ	Сальников А.М. 1,2, Михайлов П.С. 2,3, Степанова И.Э. 2,3, Батов А.В. 1,2,3 1 ИПУ РАН; 2 - ИФЗ РАН; 3 - НТУ «Сириус»
14.30-14.50	СРАВНЕНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ НА ПРИМЕРЕ АКВАТОРИИ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА	Грасс С.И. 1 , Михайлов П.С. 2,3 , Харитонов С.А. 1 , Погорелов В.В. 2,3 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова ; 2 - ИФЗ РАН; 3 - НТУ «Сириус»
14.50-15.10	РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МОРСКИХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АРКТИКЕ	Конешов В.Н. 1, Железняк Л.К. 1, Михайлов П.С. 1,2, Погорелов В.В. 1,2, Соловьев В.Н. 1, Афанасьева Л.В. 1 1 - ИФЗ РАН; 2 НТУ «Сириус»
Секция научно-образовательных и научно-популярных фильмов		
модераторы:	**Новигатский А.Н. (ИО РАН)**	
15.30-15.50	ПРОЕКТ СОЗДАНИЯ СЕРИИ ДОКУМЕНТАЛЬНЫХ ФИЛЬМОВ О ПОДВОДНОЙ АРХЕОЛОГИИ	Ткаченко Ю.Г., Хохлов С.А., Горлов И.О., Бардашов М.Н., Садеков Р.Н. (Студия "Парус и море")
15.50-16.10	ПОСТАНОВКА СЛ 7 РЕЙС АМК	Тамбиев С.Б. (ФГБУ ГОИН)
16.10-16.30	МОРСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ НА НИС «ВИКТОР БУЙНИЦКИЙ» В КАРСКОМ МОРЕ И МОРЕ ЛАПТЕВЫХ. СЕНТЯБРЬ-ОКТЯБРЬ 2015 г.	Тамбиев С.Б. (ФГБУ ГОИН)
16.30-16.50	ФЛОТИЛИЯ ПЛАВУЧИХ УНИВЕРСИТЕТОВ. НАУЧНО-ПРОСВЕТИТЕЛЬСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ В ПОВОЛЖЬЕ И ПРИКАСПИИ	Захаров Е.Е., Иванов А.В., Яшков И.А. (Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина)
16.50-17.10	ДЕЛЬФИНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ	Марин В., Семенова В., Краснова В., Болтунов А. (ИО РАН)
17.10-17.30	ЭКСПЕДИЦИЯ TTR-19	Кириллина И.А. (МГУ им. М.В. Ломоносова)

International sessions	
Special session on the UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development	
10:00-12:20 Moscow time (GMT +3)	
10.00-10.05	Welcome Statements and Opening Remarks.
10.05-10.15	Dr Grigorii G. Akhmanov (UNESCO-MSU Centre for Marine Geosciences Faculty of Geology Lomonosov Moscow State University). Welcome address of the session, links between IOC-UNESCO, LMSU, and MARESEDU conference.
10.15-10.35	Dr Vladimir Ryabinin (Executive Secretary Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO). Introduction to UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development and its key societal outcomes, challenges, approaches, and expected timeline.
10.35-10.50	Dr Sandy Starkweather (Sustaining Arctic Observing Networks). Introduction to Sustaining Arctic Observing Networks and its links to UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development.
10.50-11.05	Christian Riisager-Simonsen (Danish Centre for Marine Research). The Arctic Task Force - highlights from the ongoing Regional Arctic Ocean Decade Action Plan development process coordinated by the Danish Centre for Marine Research.
11.05-11.15	Evgeniia Kostianaia (Center for Coordination of Ocean Research, P.P. Shirshov Institute of Oceanology). The role of early career ocean professionals in preparing the UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development.
11.15-11.20	Introduction to break-out groups, explanation of the activity in the groups.
11.20-12.00	Discussions in break-out groups.
12.00-12.20	Short summary from group discussions (2 min per group), closing remarks.
Panel session on the World Association of Marine Stations and World Congress of Marine Stations	
12:30 – 14:00 – Moscow time (09:30 – 11:00 London time / 18:30 - 20:00 Tokyo time).	
12.30-12.35	Welcome and Zoom tech details.
12.35-12.55	Dr Matthew Frost (European Network of Marine Stations/Marine Biological Association) The World Association of Marine Stations and the UN Decade of Ocean science for Sustainable Development.
12.55-13.15	Dr Kazuo Inaba (Japanese Association for Marine Biology) Marine stations working together: Regional alliances and the World Atlas of Marine Stations.
13.15-13.35	Dr Alexander Tzetlin (Pertsov White Sea Biological Station of Lomonosov Moscow State University) The Nicolai Pertsov White Sea Biological Station: past, present and future.
13.35-14.00	Panel discussion and flash presentations.
UK-Russia joint session on marine expeditions in the Arctic: Understanding Marine Biology and Biogeochemistry of the Changing Arctic Ocean: UK's CAO and Russian Arctic marine research programmes	
14:30 – 16:30 Moscow time (GMT +3)	
14.30-14.35	Welcome / Zoom tech
14.35-14.45	Dr Alexander Polukhin, P.P.Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (Head of the Laboratory of Biohydrochemistry)
14.45-14.55	Dr Paul Mann, Northumbria University (lead investigator CACOON project)
14.55-15.05	Alexander Kokorin, Lomonosov Moscow State University Marine Research Center (Head of Laboratory of Hydrobiology)

15.05-15.15	Q&A session
15.15-15.25	Dr Yevgeny Aksenov, National Oceanography Centre, Southampton (lead investigator APEAR project)
15.25-15.35	Dr Anna Zalota, P.P.Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (laboratory of ecology of coastal bottom communities)
15.35-15.45	Prof. Claire Mahaffey, Professor of Ocean Sciences, University of Liverpool; (lead investigator ARISE project)
15.45-15.55	To be announced
15.55-16.15	Q&A session / Discussion
16.05-16.30	E-poster session / open discussion
Special session on biological fouling - cross-cutting research opportunities	
16:30 – 18:00 Moscow time (GMT +3)	
16.30-16.35	Welcome and Zoom tech details.
16.35-16.40	Prof. Vadim O Mokievsky (IO RAS, Moscow) Welcome address of the session.
16.40.17.00	Dr Sergey Dobretsov (UNESCO Chair in Marine Biotechnology, President of European Society for Marine Biotechnology, Director of Centre of Excellence in Marine Biotechnology, Sultan Qaboos University, Oman) New techniques for analysis of microbial deep-sea biofouling: challenges and perspectives.
17.00-17.15	Dr Kirstin Meyer-Kaiser (Woods Hole Oceanographic Institution) Title TBA
17.15-17.20	Alexandra Chava (IO RAS, Moscow) Hitching a ride to the ocean's depths: use of autonomous seafloor equipment for studying biofouling below the photic zone
17.20-17.25	Petra Harsanyi (St Abbs Marine Station, Scotland) Title TBA
17:25-17:30	Dr Sergej Olenin (Marine Reserch institute, Klaipeda University) Biofouling of marine infrastructuries: a stepping stone for marine invasive species

Стендовая секция
Углеводородные газы и газовые гидраты в морских отложениях

модераторы:	Матвеева Т.В. (ФГБУ"ВНИИОкеангеология")	Полудеткина Е.Н. (МГУ им. М.В. Ломоносова)
17.30-17.35	ПРИЗНАКИ ПОЗДНЕ-ПЛЕЙСТОЦЕНОВОЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ГИДРАТОНОСНОСТИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19)	Сигачева Л.Ю. 1, Кудаев А.А. 1, Монтелли А.И. 1, Ахманов Г.Г. 1, Хлыстов О.М. 2 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 – ЛИН СО РАН
17.35-17.40	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС НА ПУТИ К ОСВОЕНИЮ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ	Логвина Е.А. 1, Матвеева Т.В. 1, Назарова О.В. 1, Бочкарев А.В. 1, Семенова А.А. 1 1 – ВНИИОкеангеология
17.40-17.45	АУТИГЕНЕЗ ГАЗОГИДРАТОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СТРУКТУРЫ ХАОС (ОХОТСКОЕ МОРЕ)	Логвина Е.А. 1, Крылов А.А. 1, 2, 3 Матвеева Т.В. 1 1 - ФГБУ «ВНИИОкеангеология»; 2- СпбГУ; 3 - ЛИН СО РАН

Стендовая секция
Морская биология

модераторы:	Мокиевский В.О. (ИО РАН)	Цетлин А.Б. (МГУ им. М.В. Ломоносова)
17.30-17.35	ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ Anadara kagoshimensis (BIVALVIA) В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ	Колючкина Г.А. 1, Симакова У.В. 1, Елена Дунка 2, Семин В.Л. 1, Птушкин М.Д. 3, Тимофеев В.А. 4, Рязанцев К.М. 5 1 - ИО РАН; 2 - Naturhistoriska riksmuséet Sektionen för Paleobiologi (Sweden); 3 - МПГУ; 4 - ФИЦ ИнБЮМ; 5 - ГЕОХИ РАН
17.35-17.40	ПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА OPHIURA SARSII LÜTKEN, 1855 В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ	Назарова С.А. 1, Стратаненко Е.А. 1, Генельт-Яновский Е.А. 1 1 - ЗИН РАН
17.40-17.45	РОЛЬ ПОБЕГА В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У КОЛОНИАЛЬНОГО ГИДРОИДА DYNAMENA PUMILA (L., 1758)	Дементьев В.С. 1, Марфенин Н.Н. 1 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова
17.45-17.50	РАКОВИННАЯ БОЛЕЗНЬ Anadara kagoshimensis (BIVALVIA): ПРИЧИНЫ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛЯ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ	Птушкин М.Д. 1, Симакова У.В. 2, Колючкина Г.А. 2, Семин В.Л. 2 1 – МПГУ; 2 – ИО РАН
17.50-17.55	СТРУКТУРА МЕЙОБЕНТОСА И ПРЕДСТАВИТЕЛИ ТИПА TARDIGRADA В АКВАТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОКА САХАЛИНА	Федяева М.А. 1 1 – ЦМИ МГУ
17.55-18:00	ГИБРИДИЗАЦИЯ ДВУХ БЛИЗКОРОДСТВЕННЫХ ВИДОВ CHIRONOMUS ГРУППЫ PLUMOSUS В ПРИБРЕЖНОЙ ЛАГУНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ (КУРШСКИЙ ЗАЛИВ)	Маркиянова М.Ф. 1 1 - ИО РАН

18.00-18.05	ИЗВЕСТКОВЫЕ ГУБКИ БЕЛОГО МОРЯ (CALCAREA, PORIFERA): МЕХАНИЗМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗ ДИССОЦИИРОВАННЫХ КЛЕТОК	Фролова В.С. 1, 2, Скоренцева К.В. 3, Ересковский А.В. 1,2,4, Лавров А.И. 2,3,5 1 – ИБР РАН; 2 – СпбГУ; 3 – МГУ им. М.В. Ломоносова; 4 – Средиземноморский Институт экологии и биоразнообразия (Франция)
18.05-18.10	ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ТРЕНДЫ В РАЗВИТИИ ПЛАНКТОТРОФНЫХ И ЛЕЦИТОТРОФНЫХ ЛИЧИНОК ПОЛИХЕТ	Козин В.В. 1, Римская-Корсакова Н.Н. 2, Храмова Ю.В. 2, Костюченко Р.П. 1 1 – СпбГУ; 2 – МГУ им. М.В. Ломоносова
18.10-18.15	ОСЕВЫЕ ОТНОШЕНИЯ У МНОГООСКУЛЮМНОЙ ГУБКИ: ТРАНСКРИПТОМНЫЙ ПОДХОД К ВОПРОСУ ПОЛЯРНОСТИ LEUCOSOLENIA CF. VARIABILIS (CALCAREA, PORIFERA)	Борисенко И.Е. 1, Лавров А.И. 2, Ересковский А.В. 1,3,4 1 - СПбГУ; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 3 - ИБР РАН; 4 - Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (Франция)
Стендовая секция Гидрология		
модераторы:	**Субетто Д.А. (РГПУ имени А.И. Герцена, ИВПС КарНЦ РАН)**	**Демиденко Н.А.(ГОИН)**
17.30-17.35	Дискуссия	
17.35-17.40	ИЗМЕНЧИВОСТЬ БУДУЩЕГО СТОКА РЕКИ ЛЕНЫ	Калугин А.С. 1 1 – ИВП РАН
17.40-17.45	ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ЗИМНЕГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРИЛИВНЫХ УСТЬЕВ РЕК ТЕРСКОГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ НА ПРИМЕРЕ РЕК УМБА И КУЗРЕКА	Смирнова Д.А. 1, Шишов А.А. 1, Василенко А.Н. 1, Ефимов В.А. 1, Агафонова С.А. 1 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова
17.45-17.50	Дискуссия	
17.50-17.55	ИССЛЕДОВАНИЯ СВЯЗИ ТЕРМИЧЕСКОГО И ЛЕДОВОГО РЕЖИМОВ РЕК РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ	Василенко А.Н. 1, Агафонова С.А. 1, Фролова Н.Л. 1 1- МГУ им. М.В. Ломоносова
17.55-18.15	Дискуссия	

Стендовая секция Морская биология		
модераторы:	**Мокиевский В.О. (ИО РАН)**	**Цетлин А.Б. (МГУ им. М.В. Ломоносова)**
17:30-17.35	ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БИОТЫ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ПРЕГОЛЯ ПОСЛЕ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ РУСЛА В УСЛОВИЯХ БЕСПРИЛИВНОГО БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	Полунина Ю.Ю. 1, Герб М.А. 1, Ежова Е.Е. 1, Ланге ЕЕ.К. 1, Володина А.А. 1, Кочешкова О.В. 1 1 - ИО РАН
17.35-17.40	ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ТРОФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛИТОРАЛЬНОГО МАКРОБЕНТОСА ГУБЫ ГРЯЗНОЙ И ЭСТУАРИЯ РЕКИ ЧЕРНОЙ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)	Столяров А.П. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
17.40-17.45	ИЗМЕНЕНИЯ В СООБЩЕСТВАХ ПОЛИХЕТ ЗЮЙДКАПСКОГО ЖЕЛОБА И МЕДВЕЖИНСКО-	Хачетурова К.С. 1, Носова Т.Б. 1, Фролова Е.А. 2, Дикаева Д.Р. 2

	НАДЕЖДИНСКОГО МЕЛКОВОДЬЯ (БАРЕНЦЕВО МОРЕ) ЗА ПЕРИОД 2005-2015 ГГ.	1 - ПИНРО; 2 - ММБИ РАН
17.45-17.50	ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД В ИЗУЧЕНИИ ДОННЫХ ОСАДКОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ	Руденко О.В. 1 1 - Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
17.50-17.55	ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗООБЕНТОСА В ТОЛЩЕ ГРУНТА В ЖЕЛОБЕ ФРАНЦ-ВИКТОРИЯ И У ЗЕМЛИ ФРАНЦА-ИОСИФА ПО ДАННЫМ ПЕРВОГО ЭТАПА ЭКСПЕДИЦИИ «ТРАНСАРКТИКА-2019»	Семин В.Л. 1, Зимина О.Л. 2 1 - ИО РАН; 2 - ММБИ РАН
17.55-18.00	СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА СВОБОДНОЖИВУЩИХ НЕМАТОД КАРСКОГО МОРЯ	Лепихина П.П. 1, Портнова Д.А. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова, 2 - ИО РАН
18.00-18.05	ДОННЫЕ БИОЦЕНОЗЫ АЗОВСКОГО МОРЯ НА ПИКЕ СОВРЕМЕННОГО ОСОЛОНЕНИЯ	Живоглядова Л.А. 1, Фроленко Л.Н. 1, Афанасьев Д.Ф. 1 1 - АзНИИРХ
18.05-18.10	СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОЯСНЫХ СООБЩЕСТВ ЧЕРНОГО МОРЯ	Семин В.Л. 1, Колючкина Г.А. 1, Чикина М.В. 1, Басин А.Б.1 1 - ИО РАН
18.10-18.15	МАСШТАБЫ МОЗАИЧНОСТИ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА СУБЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОСТЕРЫ В ТАМАНСКОМ ЗАЛИВЕ	Любимов И.В. 1, Колючкина Г.А. 1, Мокиевский В.О. 1 1 - ИО РАН
18.15-18.20	ФЛОРА МАКРОВОДОРОСЛЕЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	Володина А.А. 1 1 - ИО РАН
18.20-18.25	РОЛЬ БЕНТОСНЫХ ХИЩНИКОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЭПИБИОЗА КРАСНОЙ ВОДОРОСЛИ PHYCODRYS RUBENS В ПРОЛИВЕ ВЕЛИКАЯ САЛМА (КАНДАЛАКШСКИЙ З-В, БЕЛОЕ МОРЕ)	Чава А.И. 1, Артемьева А.В. 2, Яковис Е.Л. 2 1 - ИО РАН; 2 - СПбГУ
18.25-18.30	О НАХОДКАХ ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ RANGIACUNEATA (BIVALVIA:MACTRIDAE) И LAONOMECF. CALIDA (POLYCHAETA: SABELLIDAE) В РОССИЙСКИХ ВОДАХ ВОСТОЧНОЙ И ЮЖНОЙ БАЛТИКИ	Лятун М.В. 1, Ежова Е.Е. 2, Орлова М.И. 1 - ФГБУН СпбНЦ РАН; 2 - ИО РАН
18.30-18.35	ЦВЕТЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В МЕЛКОВОДНОЙ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ЮЖНОЙ БАЛТИКИ	Мельник А.С. 1,2, Ежова Е.Е. 1, Ланге Е.К. 1 1 - ИО РАН; 2 - БФУ им. И.Канта
Стендовая секция Морская геология Арктического бассейна		
модераторы:	**Шевченко В.П. (ИО РАН)**	**Рыбалко А.Е. (СПбГУ, ФГБУ "ВНИИОкеангеология", ЦМИ МГУ)**
17.30-17.35	МЕТАН В ПОДЗЕМНЫХ ЛЬДАХ ЗАПАДНОГО ЯМАЛА	Стрелецкая И.Д. 1, Васильев А.А. 2,3, Ванштейн Б.Г. 4, Облогов Г.Е. 2,3, Задорожная Н.А. 2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИКЗ ТюмНЦ СО РАН; 3 - ТГУ; 4 - ФГБУ "ВНИИОкеангеология"
17.35-17.40	РАССЕЯННОЕ ОСАДОЧНОЕ ВЕЩЕСТВО В МОРСКОЙ КРИОСИСТЕМЕ: СНЕГ–ДРЕЙФУЮЩИЙ ЛЕД–ПОДЛЕДНАЯ ВОДА АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ	Новигатский А.Н. 1, Клювиткин А.А. 1 1 - ИО РАН
17.40-17.45	ЛИТОФАЦИАЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕН-ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНО-БАРЕНЦЕВОМОРСКОЙ ВПАДИНЫ (ПО ДАННЫМ РЕЙСА TTR-19)	Бычкова Е.С. 1, Соловьева М.А. 1, Ахманов Г.Г. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова

17.45-17.50	ЛЕДНИКОВЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА БАРЕНЦЕВА МОРЯ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ ОЛЕДЕНЕНИЯ (ПО ДАННЫМ РЕЙСА TTR-19)	Елисеев А.А. 1 , Соловьёва М.А. 2 , Ахманов Г.Г. 1 , Василевская Я.Н. 1 , Монтелли А.И. 3 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ООО «Деко-геофизика»; 3 - Scott Polar Research Institute, University of Cambridge (UK)
17.50-17.55	ПЕРСПЕКТИВЫ ГАЗОНОСНОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА АКВАТОРИЙ АРКТИКИ	Кишанков А.В. 1,2 1 - РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина; 2 - ИПНГ РАН
17.55-18.00	ОЦЕНКА РОЛИ ОЛЕДЕНЕНИЯ СРЕДНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА В ФОРМИРОВАНИИКРИОЛИТОЗОНЫ СЕВЕРА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО ШЕЛЬФА	Гаврилов А.В. 1, Малахова В.В. 2, Пижанкова Е.И. 1, Попова А.А. 3 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИВМ иМГ СО РАН; 3 - ООО «Северные Изыскания»
18.00-18.05	ОСОБЕННОСТИ ЛЕДОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В АРКТИКЕ И УМЕРЕННЫХ ШИРОТАХ	Мазнев С.В. 1, Огородов С.А. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
18.05-18.10	НОВЫЕ ДАННЫЕ О РЕЛЬЕФЕ ДНА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19	Кривцов А.Ю. 1, Соловьёва М.А. 2, Ахманов Г.Г. 1, Буланова И.А. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ООО «Деко-геофизика»
18.10-18.15	ОЧАГИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЯНЫМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ В БАРЕНЦЕВО-КАРСКОМ БАССЕЙНЕ ПРИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХОГЕННЫХ НАГРУЗКАХ	Александрова А.Г. 1 1 - ИО РАН
18.15-18.20	ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ЛЕДНИКОВЫХ ПАЛЕОДОЛИН СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО ДАННЫМ РЕЙСА TTR-19)	Соколова Е.О. 1,2, Соловьёва М.А. 1,2, Ахманов Г.Г. 1, Буланова И.А. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ЦАСД МГУ
18.20-18.25	МАКРОКОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОРОВЫХ ВОД ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЖЁЛОБА СЕДОВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ	Шиндина Н.Е. 1, Казак Е.С. 1, Барковский М.Д. 1, Даниленко А.С. 1, Ахманов Г.Г. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
18.25-18.30	ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИН pH И Eh ПРИ ДИАГЕНЕЗЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ ШЕЛЬФА БАРЕНЦЕВА МОРЯ В РАЙОНЕ ВОСТОЧНО-БАРЕНЦЕВОМОРСКОЙ ВПАДИНЫ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЖЕЛОБА СЕДОВА	Барковский М.Д. 1, Даниленко А.С. 1, Казак Е.С. 1, Шиндина Н.Е. 1, Ахманов Г.Г. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова

Стендовая секция
Подводное культурное наследие

модераторы:	**Фазлуллин С.М. (РГГУ)**	
17.30-17.35	ОТ ВИРТУАЛЬНОСТИ К РЕАЛЬНОСТИ: ВОЗМОЖНЫЙ ПУТЬ К СОЗДАНИЮ ПОДВОДНЫХ ПАРКОВ	Николаев И.Р. 1, Горлов И.О. 2 1 - Культурно-исторический центр «Светоч»; 2 - ЦМИ МГУ
17.35-17.40	КОНФИГУРИРУЕМАЯ, МАСШТАБИРУЕМАЯ РОБОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ПЛОЩАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АКВАТОРИИ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ	Горлов И.О. 1, Хохлов С.А. 2 1 - ЦМИ МГУ; 2 - ООО «Лаборатория сетевых технологий»
17.40-17.45	РАССЧЁТ ВОДНО-ИЗОТОПНОГО БАЛАНСА ЧЕРНОМОСКОГО БАССЕЙНА ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОПТИМУМА ГОЛОЦЕНА	Дикарёв В.А. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
17.45-17.50	РЕЧНОЕ КУЛЬТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ ДОЛИНЫ РЕКИ ОКИ	Степина М.Н. 1 1 - РГГУ
17.50-17.55	РЕПЛИКИ ИСТОРИЧЕСКИХ ПЛАВСРЕДСТВ: ТИПОЛОГИЯ И ФОРМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	Платонова О.А.1 1 - РГГУ

17.55-18.00	К ВОПРОСУ О РЕПРЕЗЕНТАЦИИ ПОДВОДНОГО КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В МУЗЕЯХ КАМПЕЧЕ (МЕКСИКА) И КАРТАХЕНЫ (ИСПАНИЯ)	Борисова Г.А. 1 1 - РГГУ
18.00-18.05	СЕВЕРОДВИНСКИЙ ТОРГОВЫЙ ПУТЬ КАК ОБЪЕКТ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	Бардашов М.Н. 1 1 - РГГУ
18.05-18.10	«МИР БЕСКОНЕЧНОСТИ. АНДРЕ ЛАБАН» ВЫСТАВОЧНЫЙ ПРОЕКТ ОБ ИСТОРИИ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВСЕМИРНО ИЗВЕСТНОМ АКВАНАВТЕ АНДРЕ ЛАБАНЕ	Быкова А.О. 1, Денисова М.Д. 1 1 - РГГУ

Стендовая секция
Морская геология

модераторы:	Шевченко В.П. (ИО РАН)	Рыбалко А.Е. (СПбГУ, ФГБУ "ВНИИОкеангеология", ЦМИ МГУ)
17.30-17.35	МОРФОДИНАМИКА БЕРЕГОВ ОСТРОВА ИТУРУП (ЮЖНЫЕ КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)	Кузнецов М.А. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
17.35-17.45	Дискуссия	
17.45-17.50	УРУНДЖИКСКИЙ ЭТАП В ИСТОРИИ КАСПИЯ	Янина Т.А. 1 1 - МГУ им. М.В.Ломоносова
17.50-17.55	Дискуссия	
17.55-18.00	ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ДОННЫХ ОСАДКОВ НА ТРАНСАТЛАНТИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ	Шайхутдинова К.В. 1, Стародымова Д.П. 2, Булохов А.В. 2, Козина Н.В. 2 1 - СПбГУ, Институт наук о Земле; 2 - ИО РАН
18.00-18.05	СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ РАЗЛОМНЫХ ЗОН АГУЛЬЯС И ЭНДРЮ-БЕЙН	Кохан А.В. 1, Дубинин Е.П. 2, Агранов Г.Д. 2, Толстова А.И. 2 1 - ООО Сварог; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова
18.05-18.10	СОСТАВ И ГЕНЕЗИС АЛЕВРО-ПЕСЧАНЫХ ПРОСЛОЕВ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕН-ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ	Томасенко С.В. 1, Косоруков В.Л. 1, Ахманов Г.Г. 1, Кудаев А.А. 1, Соловьева М.А. 1,2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ЦАСД МГУ
18.10-18.15	ПЕСЧАНЫЙ ДИАПИРИЗМ И ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА, НАКОПЛЕННОГО В ТУННЕЛЬНЫХ ДОЛИНАХ СЕВЕРО-ВОСТОКА БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19)	Щепелев Ф.С. 1, Кудаев А.А. 1, Соловьева М.А. 1, Ахманов Г.Г. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
18.15-18.20	Дискуссия	
18.20-18.25	ГЕОМОРФОЛОГИЯ КОТЛОВИНЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА	Аксенов А.О. 1,2, Рыбалко А.Е. 1,3, Науменко М.А. 4 1 - СПбГУ; 2 ААНИИ; 3 - ФГБУ «ВНИИОКЕАНГЕОЛОГИЯ»; 4 - СПб ФИЦ РАН
18.25-18.30	ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА	Крылов О.В. 1, Лубнина Н.В. 1, Владов М.Л. 1, Модин И.Н. 1, Паленов А.Ю. 1, Кусов И.С. 2, Скобелев А.Д. 1, Косевич Н.И. 1, Фадеев А.А. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова, 2 - Институт развития города СГУ
18.30-18.35	КУРС ЛЕКЦИЙ: «МОРСКАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ-	Мысливец В.И. 1 1 – МГУ им. М.В. Ломоносова

	ОКЕАНОЛОГОВ МГУ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА И МОРСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
Стендовая секция Морская биология		
модераторы:	**Цетлин А.Б. (МГУ им. М.В. Ломоносова)**	**Мельникова В.А. (ЦМИ МГУ)**
17.30-17.35	РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПИТАНИИ РЫБ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ	Зеленская А.Е 1, Иванова Т.С. 1, Иванов М.В. 1, Демчук А.С. 1, Лайус Д.Л. 1 1 - СПбГУ
17.35-17.40	СРАВНЕНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗРАСТА И РОСТА КЛЮВОРЫЛОЙ АНТИМОРЫ ANTIMORA ROSTRATA (MORIDAE, GADIFORMES) В ВОДАХ ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ	Коростелев Н.Б. 1, Орлов А.М. 1,2,3,4,5 1 - ИПЭЭ РАН; 2 - ВНИРО; 3 - ДГУ; 4 - ТГУ; 5 - ПИБР ДНЦ РАН
17.40-17.45	ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОСОМНЫХ БАКТЕРИОХЛОРОФИЛЛОВ ЗЕЛЕНЫХ СЕРНЫХ БАКТЕРИЙ ПО СПЕКТРАМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ЭКСТРАКТОВ	Рымарь В.В. 1, Жильцова А.А. 1, Краснова Е.Д. 1, Воронов Д.А. 1,2, Пацаева С.В. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИППИ РАН
17.45-17.50	ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ВОДЫ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ВОДОЕМОВ КАНДАЛАКШСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ	Жильцова А.А. 1, Краснова Е.Д. 1, Воронов Д.А. 1, 2, Емельянцев П.С. 1, Пацаева С.В. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИППИ РАН
17.50-17.55	УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГРИБОВ И ГРИБОПОДОБНЫХ ОРГАНИЗМОВ В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ	Фадеев А.Ю. 1, Георгиева М.Л. 1,2, Перебоев Д.Д. 1, Бубнова Е.Н. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - НИИНА
17.55-18.00	ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ БИОТИЧЕСКИХ И АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТКАНЯХ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ КАРСКОГО МОРЯ	Будько Д.Ф. 1, Лобус Н.В. 1, Демина Л.Л. 1, Веденин А.А. 1 1 - ИО РАН
18.00-18.05	РЕПРОДУКТИВНАЯ СИСТЕМА МАССОВЫХ БЕЛОМОРСКИХ КОПЕПОД: ТРЁХМЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ	Юрикова Д.А. 1, Кособокова К.Н. 2, Петрунина А.С. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИО РАН
18.05-18.10	АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ АКВАТОРИЙ НА БАЗЕ ОПЕРАТИВНОЙ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ	Барканова Т.Б. 1 1 - ВНИРО
18.10-18.15	НАУЧНЫЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА "БОЛЬШАЯ АРКТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ 2018"	Смирнов И. А.1, Шпаро М. Д.2 1 - Гимназия святителя Василия Великого; 2 - Директор ГБК «ЦДО «Лаборатория путешествий»
Стендовая секция Океанология		
модераторы:	**Демидов А.Н. (МГУ им. М.В. Ломоносова)**	**Крашенинникова С.Б. (ФИЦ ИнБЮМ)**
16.00-16.05	ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ	Медведев И.П. 1 1 - ИО РАН
16.05-16.10	ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ АЗОВСКОГО МОРЯ В 2019 Г. В СЕЗОННОМ И МНОГОЛЕТНЕМ АСПЕКТАХ	Косенко Ю.В. 1 1 - АхНИИРХ
16.10-16.15	МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ БЕЛОГО МОРЯ ЛЕТОМ	Нецветаева О.П. 1 1 - ФГБУ "Национальный парк "Русская Арктика"
16.15-16.20	ОСОБЕННОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА АЗОВСКОГО МОРЯ В 2019	Жукова С.В. 1, Шишкин В.М. 1, Карманов В.Г. 1, Подмарева Т.И. 1, Фоменко И.Ф. 1, Лутынская Л.А. 1, Бурлачко Д.С. 1, Безрукавая Е.А. 1 1 - АзНИИРХ

16.20-16.25	СПЕКТР МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ	Куликов М.Е. 2, Медведев И.П. 2, Архипкин В.С. 1 1 - МГУ им. М. В. Ломоносова; 2 - ИО РАН
16.25-16.30	ОЦЕНКА ЦУНАМИОПАСНОСТИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ	Медведева А.Ю. 1, Куликов Е.А. 1 1 - ИО РАН
16.30-16.35	ОБ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ОСРЕДНЕНИЯ НА РАСЧЕТ КАСАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕНИЯ ВЕТРА	Сильвестрова К.П. 1 1 - ИО РАН
16.35-16.40	ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ОПРЕСНЕННЫХ ВОД КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗАЛИВА ПРИ ИХ ВЫТОКЕ В БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ	Григорьева М.Ю. 1, Осадчиев А.А. 2, Степанова Н.Б. 1,2 1 - МФТИ; 2 - ИО РАН
16.40-16.45	ЗАТОПЛЕНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ	Павлова А.В. 1,2, Архипкин В.С. 2, Мысленков С.А. 1,2 1 - Гидрометцентр России; 2 - МГУ им. М.В. Ломоносова
16.45-16.50	ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОД ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧУКОТСКОГО МОРЯ В АВГУСТЕ 2019 Г.	Кодрян К.В. 1 1 - ВНИРО
16.50-16.55	СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИЗОСТЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА GLORYS	Новоселова Е.В. 1, Белоненко Т.В. 1 1 - СПбГУ
16.55-17.00	Дискуссия	
17.00-17.05	О НЕКОТОРЫХ ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРАХ ПАЛЕОСОБЫТИЙ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АТЛАНТИКЕ	Михайлов С.Н. 1, Козина Н.В. 1, Демина Л.Л. 1 1 - ИО РАН
17.05-17.10	Дискуссия	
17.10-17.15	ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ СПЕКТРОВ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ	Мысленков С.А. 1,2, Бадулин С.И. 2, Лопатухин Л.И. 3, Архипкин В.С. 1, Adem Akpinar 4, Bilal Bingölbali 4, Mehmet Burak Soran 4 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИО РАН; 3 - СПбГУ; 4 - Uludag University (Turkey)
17.15-17.20	ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНЗЫ РАСПРЕСНЕННЫХ ВОД В 2015 ГОДУ	Рогожин В.С. 1, Дианский Н.А. 2, Полухин А.А. 3 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИВМ РАН; 2 - ГОИН; 3 - ИО РАН
17.20-17.25	АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ МАССО-ВОГО ВЫМЫВАНИЯ МОРСКОГО МУСОРА НА БЕРЕГ САМБИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА (ЮГО-ВОСТОК БАЛТИЙСКОГО МОРЯ)	Фетисов С.В. 1, Чубарекно И.П. 2, Есюкова Е.Е. 2 1 -БФУ им. И.Канта 2 -ИО РАН
17.25-17.30	ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕДОВИТОСТИ В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ	Шапкин Б.С. 1, Рубченя А.В. 1, Иванов Б.В. 1,2, Смоляницкий В.М. 2, Ревина А.Д. 2 1 - СПбГУ; 2 - ААНИИ
17.30-17.35	ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ЛЬДА НА КАРСКОМ МОРЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СУРОВОСТИ ЗИМЫ	Петрученко А.И. 1, Круглова Е.Е. 1, Мехова О.С. 1, Подрезова Н.А. 1 1 - РГГМУ
17.35-17.40	ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОД РЕКИ КЕРЕТЬ НА УСТЬЕВОМ ВЗМОРЬЕ	Маховиков А.Д. 1, Смагин Р.Е. 1 1 - СПбГУ
17.40-17.45	УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗРЫВНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА БАЛТИЙСКОЙ КОСЕ В 2020 Г.	Мехова О.С. 1, Круглова Е.Е. 1, Павлова М.А. 2, Сильвестрова К.П. 3, Мысленков С.А. 4, Медведева А.Ю. 3, Закиров Р.Б. 5, Чубаренко Б.В. 5, Степанова Н.Б. 3 1 - РГГМУ; 2 - МФТИ; 3 - ИО РАН; 4 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 5 - АО ИО РАН

17.45-17.50	СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА	Захаржевский М.В. 1, Медведев И.П. 2, Степанова Н.Б. 1,2 1 - МФТИ; 2 - ИО РАН
17.50-17.55	ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА.	Капустникова Д.Д. 1, Медведев И.П. 2, Степанова Н.Б. 1,2 1 - МФТИ; 2 - ИО РАН
17.55-18.00	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫТОКА ВОД КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗАЛИВА В БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ	Демешко Д.М. 1, Осадчиев А.А. 2, Степанова Н.Б. 2 1 - МФТИ; 2 - ИО РАН
18.00-18.05	ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТОКОВ МОРСКОЙ ВОДЫ В КАЛИНИНГРАДСКИЙ ЗАЛИВ И КАЛИНИНГРАДСКИЙ МОРСКОЙ СУДОХОДНЫЙ КАНАЛ	Якушкин Л.Е. 1, Осадчиев А.А. 2, Степанова Н.Б. 2, Чубаренко Б.В. 3 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИО РАН; 3 - АО ИО РАН
18.05-18.10	ПРИЛИВЫ В ВИСЛИНСКОМ ЗАЛИВЕ	Сайкович К.М. 1, Медведев И.П. 2, Степанова Н.Б. 2,3 1 - СПбГУ; 2 - ИО РАН; 3 - МФТИ
18.10-18.15	СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ С ДАННЫМИ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	Смирнова Д.А. 1, Мысленков С.А. 1, 2, 3, Медведева А.Ю. 2, Степанова Н.Б. 2, Чубаренко Б.В. 4 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ИО РАН; 3 - Гидрометцентр России; 4 - АО ИО РАН
18.15-18.20	ВЛИЯНИЕ БАРОТРОПНОГО ВОДООБМЕНА НА ВНУТРЕННИЕ КОЛЕБАНИЯ ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА	Верещагин А.К. 1, Медведев И.П. 2, Куликов Е.А. 2, Степанова Н.Б. 1, 2 1 - МФТИ; 2 - ИО РАН
18.20-18.25	АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА В ДИАПАЗОНЕ ПЕРИОДОВ ОТ СЕКУНД ДО СУТОК	Шишкова П.О. 1, Медведев И.П. 2, Степанова Н.Б. 2, 3, Чубаренко Б.В. 4, Закиров Р.Б. 4 1 - СПбГУ; 2 - МФТИ; 3 - ИО РАН; 4 - АО ИО РАН

Стендовая секция Рациональное природопользование		
модераторы:	**Спиридонов В.А. (ИО РАН)**	**Загретдинова Д.Р. (ЦМИ МГУ)**
17.30-17.35	О МОРСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСАХ АРКТИКИ, ПОЛЯРНОМ ТУРИЗМЕ И НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКАХ	Спиридонов В.А. 1 1 - ИО РАН
17.35-17.40	КАМБАЛЫ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ: ХЛОРОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ КАК ФАКТОР РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ	Донец М.М. 1, Цыганков В.Ю. 1, Боярова М.Д. 1, Гумовский А.Н. 1, Гумовская Ю.П. 1, Христофорова Н.К. 1, 2 1 - ДВФУ; 2 - ТИГ ДВО РАН
17.40-17.45	АЭРОТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ДОННЫХ ОСАДКОВ МАЛЫХ ОЗЁР ВОДОСБОРОВ БАЛТИЙСКОГО, БЕЛОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ	Шевченко В.П. 1, Алиев Р.А. 2, Кокрятская Н.М. 3, Стародымова Д.П. 1, Субетто Д.А. 4, Чупаков А.В. 3 1 - ИО РАН; 2 - НИЦ “Курчатовский институт”; 3 - ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН; 4 - РГПУ им. А.И. Герцена
17.45-17.50	РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ БЕРЕГОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ К НЕФТЯНЫМ РАЗЛИВАМ	Ермолов А.А. 1, Илюшин Д.Г. 2, Кизяков А.И. 1, Михайлюкова П.Г. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ЦМИ МГУ
17.50-17.55	ДЕГАЗАЦИОННОЕ ДРОБЛЕНИЕ И СТАГНАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ АНОМАЛИИ ЭЛЬ-НИНЬО	Люшвин П.В. 1, Буянова М.О. 2 1 - ООО «ЛИКО»; 2 - Национальный исследовательский университет

Стендовая секция Гидрографические и геофизические исследования на акваториях		
модераторы:	**Токарев М.Ю. (МГУ им. М.В. Ломоносова)**	**Лыгин И.В. (МГУ им. М.В. Ломоносова)**
17.00-17.05	МОРСКОЕ ЦИФРОВОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРИЕМНОЕ УСТРОЙСТВО С ПРОГРАММИРУЕМОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ	Гайнанов В.Г. 1 , Зверев А.С. 2, Мутовкин А.Д. 3 1 – МГУ имени М.В.Ломоносова; 2 – ГЕОХИ РАН; 3 – ИО РАН
17.05-17.10	КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЖЕЛОБА СЕДОВА (БАРЕНЦЕВО МОРЕ) В ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19	Любицкая А.В. 1, Соловьева М.А. 2 1 - ООО СПЛИТ; 2 - ООО «Деко-геофизика»
17.10-17.15	АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	Шклярук А.Д. 1, Кузнецов К.М. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
17.15-17.20	РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА АКВАТОРИИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В РЕЙСЕ TTR-19	Миринец А.К. 1,2, Марятов А.К. 1, Алёшин М.И. 1,2 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова; 2 - ООО «СПЛИТ»
17.20-17.25	СТРУКТУРА ШТОРМОВОГО ВОЛНЕНИЯ КАК ФАКТОР СЕЗОННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ БЕРЕГОВОГО ПРОФИЛЯ	Корзинин Д.В. 1 1 - ИО РАН
17.25-17.30	МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ	Токмачев Д.А. 1, Полетаев А.С. 1, Ченский А.Г. 1 1 - ИРНИТУ
17.30-17.35	АНАЛИЗ ПЕРВЫХ ВСТУПЛЕНИЙ НА МОРСКИХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОСЕТЕЙ	Архипов Н.Д. 1, Солдатенко А.М. 1 1 - МГУ им. М.В Ломоносова
17.35-17.40	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА ПО ДАННЫМ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ С ДОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ В ГУБЕ РУГОЗЕРСКАЯ (БЕЛОЕ МОРЕ)	Гоманюк Ю.А. 1, Белов М.В. 2 1 - МГУ им. М.В.Ломоносова; 2 - ООО «СПЛИТ»
17.40-17.45	ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ AVO-ПАРАМЕТРОВ ДОННОГО ОТРАЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОВОДНОГО ШЕЛЬФА КАРСКОГО МОРЯ	Савадян Т.С. 1, Хритова Ю.А. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
17.45-17.50	ПРЕИМУЩЕСТВА МОРСКОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ МАГНИТОРАЗВЕДКИ В АРКТИКЕ	Лыгин И.В. 1 1 - МГУ им. М.В. Ломоносова
18.00-19.00	Закрытие конференции. Заключительное слово от модераторов секций. Объявление результатов конкурса молодежных докладов (конкуср стендовых докладов)	Токарев М.Ю., Рыбалко А.Е., Мокиевский В.О., Спиридонов В.А., Субетто Д.А., Фазлуллин С.М., Демидов А.Н. и др.

Углеводородные газы и газовые гидраты в морских отложениях

Устные доклады

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ГАЗОГИДРАТОВ В ОХОТСКОМ МОРЕ И УСЛОВИЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ В ОХОТСКОМ МОРЕ

Обжиров Анатолий Иванович

Тихоокеанский океанологический институт им.В.И.Ильичева (ТОИ) ДВО РАН, г.Владивосток.

Изучение газогидратов в Охотском море началось сотрудниками лаборатории Газогеохимии ТОИ ДВО РАН с 1988 г. (Обжиров, 1993) . В этом году в экспедиуии был обнаружен поток пузырей газа с аномальным содержанием метана в воде (более 1 мл/л) из донных отложений в воду в районе северо-восточного склона впадины Дерюгина Охотского моря на глубине моря 700 м (рис. 1). В 1991 году сотрудники института ВНИИОкеангеологии (Mazurenko, Matveeva et.al., 2009) в районе этого потока газа (Эрвин Зюсс, директор института ГеоМар, г. Ктиль дал ему имя «Обжиров») обнаружели газогидраты (рис. 2). В дальнейшем в Охотском море выполнялись международные экспедиции с участием специалистов Германии, республики Корея, Японииа, некоторых специалистов других стран и России. В Охотском море и других Дальневосточных морях выполнялся комплекс исследований: геологические, гидроакустические, сейсмические, гравиметрические, газогеохимические, океанологические и другие измерения (Obzhirov, Shakirov et. al.). К 2020 году было обнаружено более 500 потоков газа с аномальным содержанием метанаа, иногда с присутствием тяжелых углеводородов (C2-C4), CO2, He и H2.

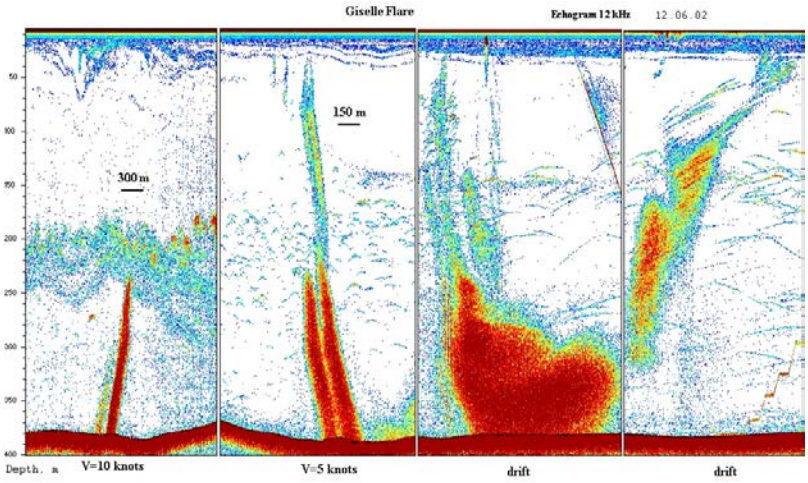


Рис. 1 Гидроакустическая запись выходов пузырей газа («Обжиров») со дна моря в районе, где обнаружены газогидраты на Сахалинском восточном склоне Охотского моря (запись Саломатина, 2002).

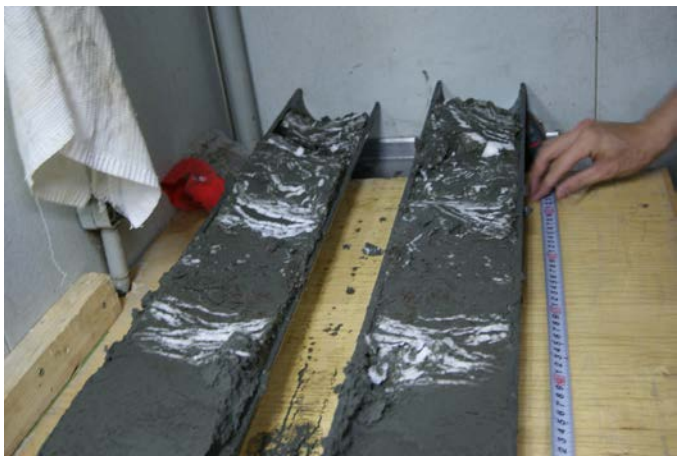


Рис.2. Слои газогидратов (белый цвет) в донных осадках на Сахалинског склона Охотского моря. В период сейсмических активизаций выделяется метан и в зоне стабильности газогидратов (высокое давление и низкая температура, при давлении 30 атм газогидрат образуется пр 0^{o} С, при повышении температуры необходимо увеличении давления, чтобы образовался газогидрат при наличии метана и воды) образется слой газогидрата, при стабилизации – накапливаются слои осадков (серый цвет)

В процессе изучения выяснилось, что в зонам сейсмически активных разломов, в районе потоков газа с содержанием вномальных концентраций, метана, образуются газогидраты. При этом концентрации метана в воде возрастают в 1000-10000 раз относительно фона. Это происходит в связи с тем, что зона сейсмически активного разлома пересекает всю газогидратсодержащую и осадочную толщу, в результате чего по зоне разлома на поверхность выходят свободный газ, ранее перекрытый этой толщей, в том числе газогидратом, так как он является хорошей покрышкой для миграции газа к поверхности Основным источником углеводородных газов являются нефте-газ-содержащие слои пород и подток, в том числе, мантийных газов. Индикатором наличия подтока газа из недр Земли является наличие аномальных концентраций водорода, гелия в потоках пузырей газа из донных отложений в воду и в донных осадках газогидратсодержащих слоев. Изотопное отношение бС13/С12 углерода метана газогидратов Охотского моря обычно равно -60 - -65, что характеризует возможно смесь источников микробного и термогенного метана при формировании газогидрта.

Подошва газогидратсодержащих отложений в Охотском море залегает на глубине около 350-400 м от поверхности дна. Так как под ней обычно скапливаются свободные газы (в основном метан), то граница между двумя средами хорошо прослеживается в сейсмическом поле, которая проходит параллельно поверхности дна, пересекая слои накопления осадков. Эта граница называется Bottom simulating Reflector (BSR), то есть, отражение подобное (параллельно) дну. Поток пузырей газа (метана) в воде на эхограмме создает звукорассеивающее аномальное тело (факел), которое распространяется от дна вверх на 200-400 и более м (см. рис. 1). При этом в верхнем слое осадков в потоке метана образуются вторичные газогидраты метана. В районе выходов пузырей метана поверхность дна нарушается, на дне формируются бугорки и ямки, которые напоминают структуры грязевых вулканов.

Таким образом, следует отметить, что изучение распределение природных газов в воде и донных осадков морей, формирование газогидратов являются важной научно и прикладной задачей. Практическое направление связано: - в использовании природных

газов, как индикаторов для поиска и прогноза газогидратов, нефегазовыми месторождений, так как газогидраты являются хорошей покрышкой и, в том числе. под ними образуются залежи углеводородов. Кроме того, газогидраты консервируют углеводороды и их рассматривают как возможный источник альтернативного углеводородного сырья.

Литература

1.Обжиров А.И. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 139 с.

2. Mazurenko L.L., Matveeva T.V., Prasolov E.M., Logvina E.A., Prilepskiy E.B., Shoji H., Minami H., Sakagami H., Hachikubo A., Obzhirov A.I., Salomatin A.S., Salyuk A.N., Jin Y.K., Poort J. Gas hydrate formibg on the NE Sakhalin in slope, Sea of Okhotsk // Geological Society Special Publication. 2009. Т. 319. С. 51-72.

Gas hydrate formibg on the NE Sakhalin in slope, Sea of Okhotsk

3.Obzhirov A., Shakirov R., Salyuk A. et al. Relations between methane venting, geological structure and seismo-tectonics in the Okhotsk Sea // Geo-Marine Letters. 2004. Vol. 24. P. 135–139.

ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТА МЕТАНА В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ ПОСРЕДСТВОМ СИНХРОТРОННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Дугаров Гэсэр Александрович[1], Никитин Виктор Валерьевич[2], Фокин Михаил Игоревич[1], Дучков Антон Альбертович[1]

[1] Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

[2] Argonne National Laboratory, Лемонт, США

С целью изучения процессов формирования/диссоциации гидратов необходимо изучить их на микроуровне. Такие параметры гидратосодержащих образцов как пористость, структура порового пространства, морфологии гидрата и т.д. определяют макроскопические свойства этих образцов. Поэтому необходимо совместить лабораторные эксперименты по формированию и изучению гидратосодержащих образцов с получением их изображений в разных масштабах. С этой целью широко применяется рентгеновская компьютерная томография. Этот неразрушающий метод позволяет отображать детальную структуру горных пород со сложной пористой структурой, с содержащим различных фаз (газ, многофазная жидкость, лед/гидрат).

В данной работе представлены результаты синхротронной рентгеновской компьютерной томографии (КТ) песчаных образцов в процессе формирования гидрата метана, а также на этапе его диссоциации с самоконсервацией. Стандартные лабораторные рентгеновские КТ-устройства требуют длительного времени экспозиции (от нескольких часов до дней) для получения изображений с высоким разрешением. В свою очередь, синхротронная томография позволяет снимать быстрые процессы с высоким разрешением.

Эксперименты, рассмотренные в данной работе, проводились на станции 2-BM синхротрона Advanced Photon Source, расположенного в Argonne National Laboratory, США. Каждое сканирование гидратосодержащего образца занимало около 1 мин для получения изображений с уровнем разрешения порядка 2 мкм. Образец был помещен внутрь ячейки, заполненной мелким кварцевым песком и 10% водным раствором NaBr. Чистый газообразный метан под давлением в 10 МПа подавался по трубкам высокого давления с верхней и нижней торцов ячейки. Сама ячейка охлаждалась внешним обдувом посредством системы Cryostream.

После установления необходимых термобарических условий потребовалось около 1.5 часов, чтобы зафиксировать начало процесса формирования газогидрата, см. рис. 1, а, б. Начало гидратообразования сопровождалось быстрыми перетоками воды в поровом пространстве образца. Далее наблюдалось быстрое образование газогидрата в газовые полости, см. рис. 1, в. Также наблюдалось медленное образование внутри объемов воды, см. рис. 1, г. Разница в скорости образования гидрата в газовые полости и внутри объемы воды (минуты и часы соответственно) связана с низкой скоростью диффузии гидрата внутри объема воды. При этом гидраты двух типов различаются как своей структурой, так и контрастом (уровнем серого) на полученных изображениях. Изображения представлены набором «вокселей», минимальных разрешающих объемов, каждый из которых имеет свое значение контраста. Контраст пропорционален эффективной плотности, усредненной по объему «вокселя».

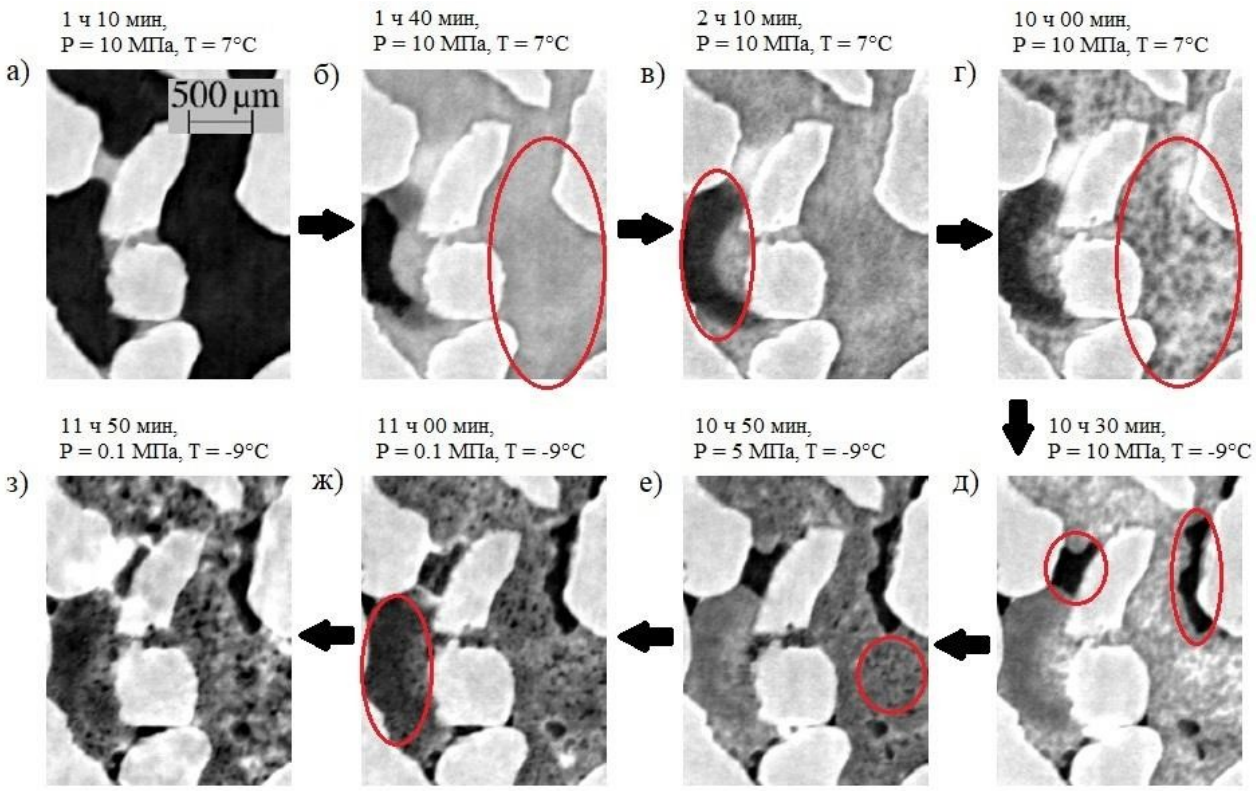


Рис 1. Изображения сканируемого объема образца: (а) – исходное состояние, песок с 10% раствором NaBr, (б) – перетоки воды, вызванные началом гидратообразования, (в) – быстрое образование гидратов в газовые полости (темно-серые области), (г) – медленное гидратообразование внутри объема воды (гранулированная структура), (д) – перетоки воды, вызванные заморозкой, (е) – промежуточный сброс давления до 50 атм, (ж) – сброс давления до 1 атм, (з) – эффект самоконсервации гидрата, 1 час после сброса давления.

Гидрат, образованный в газовые полости, более однороден по сравнению с зернистой структурой гидрата, образовавшейся внутри водного объема. После дальнейших перетоков воды в процессе замораживания образца и соответствующего замещения газа водой с высокой концентрацией соли, см. рис. 1, д, мы можем дифференцировать гидрат, образовавшийся в газовой полости, и метан. Замораживание образца проводилось для изучения эффекта самосохранения, заключающегося в медленной диссоциации газогидрата при отрицательной температуре и низком давлении, не соответствующем зоне стабильности гидрата метана.

Сброс давления производился в несколько этапов. При первом сбросе до 5 МПа, см. рис. 1, е, наблюдались перетоки оставшегося солевого раствора (яркие пятна в гидрате на рис. 1, д). На этом этапе мы можем видеть четкое различие между гранулами песка, гидратом и газом.

После сброса давления до 0.1 МПа, см. рис. 1, ж, мы наблюдали, что гидрат, образовавшийся в газовых полостях, становится менее заметным, что может быть связано с относительно более сильной диссоциацией гидрата этого типа. При поддержании отрицательной температуры и давления в 0.1 МПа наблюдалось увеличение количества и размера газовых включений в объеме сформированного гидрата, см. рис. 1, з. Но даже спустя час после нарушения термобарических условий устойчивости гидрата метана большое количество гидрата все еще не разложилось, что связано с эффектом его самоконсервации.

Наблюдаемые эффекты следует учитывать в экспериментах, связанных с измерением различных физических свойств гидратосодержащих образцов. Перетоки воды могут привести к неоднородности исследуемых образцов и увеличить разброс измеряемых физических свойств по сравнению с заявленной точностью используемой установки. Различия в эффекте самоконсервации гидрата разных типов означает, что история образования гидрата влияет на его свойства самоконсервации для одинаковых термобарических условий. Это необходимо учитывать при моделировании диссоциации гидрата для получения более точных результатов.

В данном исследовании использовались ресурсы Advanced Photon Source, Argonne National Laboratory. Работа выполнена при поддержке гранта Президента (МК-2647.2019.5).

КАРТИРОВАНИЕ ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В АКВАТОРИЯХ МОРЕЙ РОССИИ

Матвеева Татьяна Валерьевна, Семёнова Анастасия Андреевна, Бочкарев Алексей Викторович

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана» (ВНИИОкеангеология), Санкт-Петербург

Образование и разложение гидратов в природных условиях зависит от ряда параметров. Прежде всего, это термобарические условия (давление и температура), которые могут варьировать в зависимости от состава газа и солености (минерализации) воды, а также растворимости газов воде. Термобарические условия стабильности газовых гидратов в недрах акваторий определяются параметрами давления (газа-гидратообразователя) и температуры. При этом давление газа подменяется внешним давлением (гидростатическим или глубиной воды). Температура и давление являются основными характеристиками зоны стабильности газовых гидратов (ЗСГГ) в геологическом понимании – той части литосферы, в пределах которой ранее образовавшиеся газовые гидраты остаются в стабильном состоянии. Следовательно, в пределах зоны стабильности можно ожидать наличие гидратов, а выше или ниже этой зоны газ находится в водорастворенном или газообразном состоянии.

Другими, не менее важными характеристиками ЗСГГ являются ее мощность и площадь распространения. В условиях относительно глубоководных и холодноводных акваторий верхняя граница ЗСГГ (кровля) располагается, как правило, в толще воды на значительном удалении от дна, а нижняя граница (подошва), в зависимости от температуры на дне и величины геотермического градиента ниже дна, может находиться на поддонной глубине до 600 м и более. В верхних частях континентального склона и на полярных шельфах кровля термобарической зоны стабильности газовых гидратов может приближаться к дну или, как например, в ассоциации с реликтовой мерзлой зоной на арктическом шельфе, находиться на некоторой глубине ниже дна. Соответственно, и мощность такой зоны будет весьма небольшой даже при малой величине геотермического градиента.

Таким образом, по отношению к дну моря, термобарическая зона стабильности гидратов может быть придонной и непридонной, то есть отделенной от дна интервалом от единиц метров до более 200 м. Придонная зона стабильности характерна для ложа океана, континентального склона и, для тех районов шельфа, где отсутствуют реликтовые мерзлые породы, но есть достаточные глубины моря.

Непридонная зона стабильности гидратов может контролироваться областями распространения субмаринных реликтовых мерзлых пород той или иной мощности, либо быть приуроченной к акваториям шельфа, где мерзлая зона отсутствует, но температура у дна достаточно низкая, а глубина моря значительная, хотя и недостаточная для создания необходимых давлений газогидратообразования на самом дне.

Следует подчеркнуть, что когда мы говорим о ЗСГГ, подразумевается стабильность, то есть о равновесные термобарические условия существования (а не образования) гидратов.

Картирование ЗСГГ – ключевая задача геологии газовых гидратов, инженерной геологии, а также нефтегазовой геологии. Именно прогнозное картирование ЗСГГ позволяет не только предсказать где (по площади и в разрезе) возможно образование гидратов углеводородных газов, но также и оценить их ресурсные перспективы и геоэкологические риски, связанные с их потенциальным образованием и разложением.

Последнее прогнозное картирование акваторий России проводилось во ВНИИОкеангеологии на рубеже XXI века. В.А. Соловьевым и Г.Д. Гинсбургом был создан

комплект прогнозных карт, опубликованный в атласе «Геология и полезные ископаемые шельфов России» (2004).

С тех пор сколько-нибудь обоснованные прогнозные карты ЗСГГ были опубликованы только по отдельным акваториям. По Баренцеву и Карскому морям (Klitzke et al., 2016); по Чукотскому морю (Матвеева и др., 2017); проводились отдельные работы и по Северному Ледовитому океану (Vadakkepuliyambatta et al., 2017; Богоявленский и др., 2018). Между тем, прогресс в картировании и модельных расчетах, достигнутый за последние два десятка лет, а также накопленные материалы по газогидратоносности ставят этот вид работ в ряд первоочередных.

Постановка задачи по картированию ЗСГГ всех потенциально газогидратоносных морей России во ВНИИОкеангеологии была одной из составляющих большого проекта по количественной оценке ресурсов газовых гидратов в акваториях морей Российской Федерации, который начат в 2019 г . Работы по картированию ЗСГГ российских морей – приоритетная цель 2020 г. По завершению работ планируется публикация комплекта карт, куда войдут акватории морей Северного Ледовитого океана – Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского, Дальневосточных морей – Берингова, Охотского и Японского, а также – Черного и Каспийского морей.

Любые прогнозные оценки гидратоносности основываются на сопоставлении температурных кривых и выбранной равновесной кривой гидратообразования. ЗСГГ определяется параметрами давления (газа-гидратообразователя) и температуры. При этом, давление газа подменяется внешним давлением (гидростатическим или глубиной воды). Пересечения равновесной кривой гидрата выбранного состава и фактической или предполагаемой термограммы определяют верхнюю и нижнюю границы зоны, в пределах которой ранее образовавшиеся гидраты стабильны, т.е. ЗСГГ. Для расчета ЗСГГ необходимы следующие данные:

– температура (температура на морском дне, теплопроводность отложений, температура в толще отложений, температурный градиент);
– давление (давление столба воды или глубина моря);
– соленость (соленость поровой воды, которая в нелитифицированных отложениях обычно принимается равной солености морской воды);
– состав газа-гидратообразователя.

Все перечисленные данные фактически являются параметрами гидратообразования, в той или иной мере его контролирующими. Наибольшее влияние на возможность образования гидратов оказывают температура и давление.

В ходе работы над проектом разработан макет цифрового массива данных (ЦМД) по газовым гидратам и их признакам в акваториях морей Российской Федерации, включающий три основных блока материалов: океанографические, геофизические и литолого-геохимические. Для каждого из блоков определены цифровые массивы данных, ведется их наполнение. При участии ФГБУ «ААНИИ» подготовлен океанографический ЦМД (проведены выборка и статистический анализ данных) и построены соответствующие карты площадного распределения среднегодовых за многолетний период температур и солености придонного слоя воды. Собрана база доступных геотермических данных, разработана методика и проведено геотермическое районирование. Составлены карты геотермического районирования по изученным акваториям. Ведутся работы по картированию ЗСГГ. Работы по картированию ЗСГГ планируется закончить к концу 2020 г.

Список литературы

1. *Соловьев В.А., Гинсбург Г.Д.* Условия гидратоносности и потенциально газогидратоносные акватории. Западно-Арктические моря. Геология и полезные ископаемые шельфов России (атлас) / Ред. М.Н. Алексеев. М., ГЕОС, 2004.

2. *Т.В. Матвеева, А.А. Семёнова, Н.А. Щур, Логвина Е.А., Назарова О.В.* Перспективы газогидратоносности Чукотского моря // Записки Горного института. 2017. Т. 226. С. 387-396. DOI: 10.25515/PMI.2017.4.387

3. Klitzke, P., Luzi-Helbing, M., Schicks, J., Cacace, M., Jacquey, A. B., Sippel, J., Scheck- Wenderoth, M., Faleide, J. I. Gas Hydrate Stability Zone of the Barents Sea and Kara Sea Region // Energy Procedia, 2016, 97, pp. 302—309.

4. *Vadakkepuliyambatta, S., Skeie, R. B., Myhre, G., Dalsøren, S. B., Silyakova, A., Schmidbauer, N., Lund Myhre, C., and Mienert, J.* Climatic impact of Arctic Ocean methane hydrate dissociation in the 21st-century // Earth Syst. Dynam. Discuss., https://doi.org/10.5194/esd-2017-110, 2017.

5. *Богоявленский В.И., Янчевская А.С., Богоявленский И.В., Кишанков А.В.* Газовые гидраты на акваториях Циркумарктического региона // Арктика: экология и экономика. 2018. № 3 (31). С. 42—55. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-42-55. 2018

УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ КРИОГЕННЫХ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА РОССИЙСКОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЕ

Друщиц Валентина Александровна

Геологический институт РАН, Москва

Введение

Арктический регион расположен в пределах двух плит Евразийской и Северо-Американской. В свою очередь окраинные моря принадлежат Евразийскому и Амеразийскому бассейнам Северного Ледовитого океана.

В арктическом регионе в позднем кайнозое происходит изменение климатических условий в сторону похолодания, и вследствие этого процесса начинает формироваться криолитозона. Далее при наличии необходимых и достаточных условий: определенных термобарических показателей, природного газа (преимущественно, метана), коллектора, воды – образуются гидраты природного газа. Покрышкой служат многолетнемерзлые породы (ММП). В настоящее время все известные месторождения и значительные скопления криогенных гидратов природного газа (КГГ) расположены в пределах нефтегазовых бассейнов. Их происхождение связано с континентальными обстановками, они могут находиться внутри ММП и под ними. КГГ обнаружены и изучаются на севере Западной Сибири и на побережье, и в море Бофорта.

Возможно, КГГ в холодные эпохи были стандартным образованием и помимо нефтегазоносных бассейнов могли концентрироваться на небольших глубинах, формируясь из биогенного приповерхностного метана. Север Западной Сибири служит ярким примером такого явления, где КГГ при современных природных условиях не могут образовываться, но сохраняются вне области их термодинамической стабильности, вследствие эффекта самоконсервации. Такие КГГ называются метастабильными или реликтовыми. Можно оконтурить массив реликтовых (метастабильных) КГГ на п-овах Ямал, Гыдан и Тазовский на основании распространения косвенных признаков присутствия клатратов метана, на месторождениях Бованенковское, Южно-Тамбейское, Ямальское, Уренгойское и Заполярное. Кроме того, здесь находятся в зоне стабильности гидратов природного Мессояхские клатратные месторождения.

По доказанным газогидратным залежам на континентальной окраине севера Аляски и континентальной окраине северо-запада Канады проводились многочисленные исследования, по результатам которых можно судить о природных условиях образования и существования КГГ на современном этапе развития. Использование информации этих изысканий позволяет прогнозировать наличие обстановок присутствия КГГ на российской арктической континентальной окраине.

Условия образования и сохранения КГГ на континентальной окраине море Бофорта

Регион моря Бофорта принадлежит к позднемезозойскому Амеразийскому бассейну Северного Ледовитого океана. Активные тектонические деформации постепенно затухают в раннем кайнозое. В позднем кайнозое основными природообразующими факторами становится чередование ледниковых и межледниковых эпох и сопутствующих им регрессивных и трансгрессивных циклов.

Для КГГ для северного побережья Аляски характерно развитие в относительно постоянных, перигляциальных условиях. Оледенения не выходили за пределы хребта

Брукса и его подножия. Климат был суровым и остается таким же по настоящее время. ММП имеют сплошное распространение и на побережье, и в горном массиве, максимальные мощности (500-650м) – в районах залежей КГГ. На шельфе мощности ММП уменьшаются (на глубине 8 м – 250м). Наличие КГГ ограничено зоной внутреннего шельфа. На суше КГГ находятся на глубинах от 200 м, а на акватории – от 400 м [Collet et al., 2011; Riedel et al., 2017].

На северо-западе Канады, в дельте и на взморье р. Маккензи границы распространения покровного оледенения являются дискуссионным вопросом. Признается присутствие ледника в плиоцене, а относительно распространения Лаврентийского ледникового щита в позднем неоплейстоцене имеются разногласия. Одними исследователями определяется протяжение ледника до дельты р. Маккензи в раннем Висконсине (Валдае), другими − в позднем Висконсине (Валдае). Независимо от времени захвата ледником района дельты р. Маккензи, видимо на шельф проникали отдельные потоки. Более того, предполагается, что этот процесс продолжался относительно короткий срок от 17,5 до 15,0 т.л.н. Основная активность проявлялась в действии флювиогляциальных потоков, приуроченным к заливам (залив Маккензи, Ливерпульский залив, залив Амундсена) [Batchelor et al., 2013]. Дельта и шельф к северо-востоку находятся в зоне сплошного распространения ММП. Мощность криолитозоны меняется от 0 до 700 м, она резко сокращается к заливу Маккензи и к югу [Burn , Kokelj. 2009]. Максимум наблюдается на севере о. Ричардс и на прилегающем шельфе, где сосредоточены КГГ. КГГ на о. Ричардс находятся под ММП, в интервале глубин 820-1103 м. На шельфе кровля отложений, содержащих КГГ, залегает также под многолетней мерзлотой на глубинах, начиная от 500 м от дна до 1200 м. Все скопления КГГ на шельфе локализуются в песках и гравии плиоцен- четвертичного возраста [Majorowicz, Hanningen, 2000]. И шельф, и дельта с прилегающей сушей опускаются.

Условия образования и сохранения КГГ на российской арктической континентальной окраине

Российская арктическая континентальная окраина принадлежит двум бассейнам Северного Ледовитого океана: Евразийскому и Амеразийскому. Наибольшая тектоническая активность свойственна более молодому кайнозойскому Евразийскому бассейну. Особенно ярко тектонические деформации проявляются на дивергентной границе Евразийской и Северо-Американской плит в море Лаптевых. Моря Восточной Арктики характеризуются довольно спокойной геодинамикой в позднем кайнозое. Для шельфа Западной Арктики характерны высокая степень контрастности рельефа, сейсмичности, литодинамики (эрозионный срез до 1,5км, перемещение осадочных масс ледниками, оползни). В настоящий момент наблюдается проникновение теплых атлантических вод. Все эти процессы вызывают и вызывали и деградацию ММП, и повышенную мобильность осадочного покрова, что не способствует сохранению КГГ. В Печорском море и на юго-западе Карского, в областях нефтегазовых бассейнов, где весьма вероятно образование КГГ, современная деградация ММП приводит к их диссоциации [Соколов и др., 2019; Баду, 2017].

Вышеупомянутый массив реликтовых КГГ обязан своему выявлению освоению природных ресурсов Западной Сибири. Происхождение его обусловлено эволюцией природных обстановок в четвертичном периоде. Главная же причина состоит в том, что в позднем валдае здесь господствовал перигляциал в непосредственной близости от ледникового покрова. Были созданы необходимые и достаточные условия для формирования и сохранения КГГ. Видимо, массив реликтовых КГГ мог распространяться и

в области современного шельфа и исчезнуть при наступившей трансгрессии. КГГ локализуются внутри ММП (мощность 160-350м) и концентрируются на глубинах 40-150м в прибрежно-морских отложениях казанцевской (поздний неоплейстоцен) и ямальской (ранний-средний неоплейстоцен) свит. Газ имеет биогенное происхождение. КГГ Мессояхских месторождений (глубина залегания 810-830м, мощность ММП 420-480м) находятся в зоне стабильности КГГ, что обеспечивает им сохранность [Строение…, 2007].

На континентальной окраине Восточной Арктики (зона сплошного распространения ММП) Восточно-Сибирское море по геологическим и климатическим параметрам подобно западной части моря Бофорта. Следующие факторы могут способствовать образованию КГГ достаточно стабильная геодинамика, стабильное развитие в перигляциальных условиях, благоприятные литологические и гидрологические характеристики. Высокие концентрации метана, обнаруженные на шельфе Восточно-Сибирского моря [Shakhova et al.,2019], возможно связаны с разложением реликтовых КГГ. С позиций характеристик криолитозоны и устьевых (и устьевого взморья) и долинных зон реки Индигирка и Колыма аналогичны рекам Колвилл и Сагаванирток, в области которых аккумулируются скопления КГГ на северном побережье Аляски [Долгополова, 2018]. Кроме того, предполагается, что в среднем неоплейстоцене о. Новая Сибирь подвергался оледенению. Это может свидетельствовать об очень суровой климатической обстановке, которая способствовала формированию мощной толщи ММП (более 700м).

Выводы

Рассматривая развитие природных условий районов залежей КГГ можно заметить, что на российской континентальной окраине выделяются две зоны с аналогичными обстановками континентальной окраине севера Северной Америки (море Бофорта) в позднем кайнозое: север Западной Сибири (со смежным шельфом) и континентальная окраина Восточной Арктики (Восточно-Сибирское море). Естественно, полного совпадения природных обстановок ожидать не следует. Однако, скопления КГГ, на основании косвенных признаков, устанавливаются на севере Западной Сибири. Там же открыто месторождение КГГ. На континентальной окраине Восточной Арктики, вероятно, будут обнаружены КГГ по результатам будущих исследований. Загадкой является существование массива реликтовых КГГ, охватывающего п-ова Ямал, Гыдан и Тазовский. Видимо, реликтовые КГГ должны широко распространяться в перигляциальных областях Арктики, особенно сопутствовать нефтегазовым месторождениям. Возможно, интенсивная разгрузка метана на шельфе Восточно-Сибирского моря – следствие исчезновения скоплений реликтовых скоплений КГГ, распространение которых можно ожидать в пределах Индигиро- Колымской низменности, прибрежных низменностей севера Аляски. В районе дельты реки Маккензи такого рода скопления могли быть уничтожены наступлением ледника. Либо, если ледник достиг дельты в раннем валдае, реликтовые КГГ должны сохраниться вне зоны действия флювиогляциальных потоков.

Исследования проведены в соответствии с планами научно-исследовательской работы ГИН РАН "Тектоника, магматизм и осадконакопление в геологической истории арктической и тихоокеанской континентальных окраин Северо-Востока Азии" (№ в плане НИР 0135- 2019-0078).

Список литературы

Баду Ю.Б. Газопроявления и природа криолитогенеза морских отложений полуострова Ямал // Криосфера Земли. − 2017. − Т. XXI. − № 5.− С. 42–54.

Долгополова Е. Н. Роль многолетнемерзлых пород в формировании гидрологоморфологического режима устьев рек водосбора Северного Ледовитого океана// Арктика: экология и экономика. — 2018. — №4 (32). — С. 70—85.

Соколов С. Ю., Мороз Е.А., Сухих У.е. др. Проявления глубинной дегазации в водной толще и верхней части разреза Печорского моря // Георесурсы. − 2019.− Т. 21.− № 4. − С. 68- 76.

Строение и свойства пород криолитозоны южной части Бованенковского газоконденсатного месторождения (отв. Редактор Е.М. Чувилин). ─ М.: ГЕОС. − 2007. −137 с.

Batchelor C.L., Dowdeswell J.A., Pietras J.T. Variable history of Quaternary ice-sheet advance across the Beaufort Sea margin, Arctic Ocean // Geology. −2013.− Vol. 41.− № 2.− P. 131–134.

Burn C. R., Kokelj S. V. The Environment and Permafrost of the Mackenzie Delta Area // Permafrost and Periglac. Process. − 2009. − Vol. 20.− P. 83–105.

Collet T. S., Myung L.W., Agena W. F. et al. Permafrost-associated natural gas hydrate occurrences on the Alaskan North Slope // Marine and Petroleum Geol. − 2011.− Vol. 28.− P. 279– 294.

Majorowicz J.A., Hanningen P.K. Natural gas hydrates in the offshore Beafort-Mackezie

Basin - study of feasible energy source II // Natural Resources Research. − 2000. − Vol. 9.− №3.− P. 201-214.

Riedel M., Brent T.A., Taylor G. et al. Evidence for gas hydrate occurrences in the Canadian Arctic Beaufort Sea within permafrost-associated shelf and deep-water marine environments // Marine and Petroleum Geol.− 2017.− Vol. 81.− P. 66-78.

Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E. Understanding the Permafrost–Hydrate System and Associated Methane Releases in the East Siberian Arctic Shelf // Geosciences. − 2019.− V. 9.− Is. 6.251. doi:10.3390/geosciences9060251

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДЕСТАБИЛИЗАЦИЮ ВНУТРИМЕРЗЛОТНЫХ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ

Давлетшина Динара Анваровна [1], Чувилин Евгений Михайлович [1], Екимова Валентина Васильевна [1], Буханов Борис Александрович [1], Шахова Наталья Евгеньевна [2,3], Семилетов Игорь Петрович [2,3,4]

[1] – Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия

[2] – Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

[3] – Аляскинский университет в Фэрбенксе, Фэрбанкс, Аляска, США

[4] – Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток, Россия

На сегодняшний день одной из наиболее серьезных экологических проблем является существенное увеличение концентрации парниковых газов (прежде всего метана) в арктических регионах, что многими исследователями рассматривается как существенный фактор глобальных изменений климата. В результате повышения температуры окружающей среды могут активизироваться процессы деградации многолетнемерзлых пород как на суше, так и на арктическом шельфе, что приводит к дестабилизации газогидратных образований и высвобождению огромных объемов метана в атмосферу [1-4]. Для понимания механизма разложения внутримерзлотных газогидратов важное значение имеет экспериментальное моделирование этих процессов.

Для экспериментального моделирования влияния температуры на диссоциацию газовых гидратов в мерзлых породах в работе использовалась специальная экспериментальная установка, позволяющая моделировать необходимые термобарические условия в образцах грунта в широком диапазоне температур и давлений. Установка представляет собой металлическую барокамеру (объемом около 420 $см^3$), в которую помещается контейнер с приготовленным грунтом. Датчики температуры и давления позволяют автоматически регистрировать (с точностью 0.05°С и 0.005 МПа) изменения термобарических условий в образце, которые записываются на компьютер со встроенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) [5]. В качестве объектов исследования для моделирования использовались песчаные и супесчаные грунты нарушенного сложения, в том числе отобранные на арктическом шельфе. Гидратонасыщение грунтовых образцов осуществлялось при отрицательной температуре (≈ –6°С) под давлением чистого метана (4 - 6 МПа) [5]. В дальнейшем насыщенные гидратом метана замороженные образцы грунтов, при фиксированной отрицательной температуре –6°С, переводились в условия самоконсервации порового гидрата. Для этого давление в барокамере сбрасывалось до 0.6 - 1.6 МПа. При таких условиях наблюдалось разложение поровых газовых гидратов, которое, вследствие проявления эффекта самоконсервации, носило затухающий характер [6]. Давление газа в барокамере в ходе эксперимента по диссоциации газогидратов в мерзлых породах поддерживалось постоянным. После затухания процесса диссоциации порового гидрата (его самоконсервация), температуру в барокамере с мерзлым гидратосодержащим образцом постепенно повышали до положительного значения, при этом наблюдали за динамикой изменения давления и температуры внутри барокамеры и

фиксировали критические значения температур, при которых происходило резкое изменение давления, связанное с активизацией процесса разложения поровых гидратов. Характеристики экспериментальных образцов, а также параметры их гидратосодержания в условиях самоконсервации (гидратонасыщенность (*Sh*) и коэффициент гидратности (*Kh*), характеризующий долю поровой влаги перешедшая в гидрат, приведены в таблице 1. Здесь также даны условия нагревания и температуры начала интенсивного разложения порового гидрата (t_d).

Таблица 1. Параметры гидратосодержания мерзлых гидратонасыщенных образцов

Образец	Влажность, %	Плотность, г/см^3	Засоленность, %	Параметры гидратосодержания образцов в условиях самоконсервации			Условия нагревания		Температура начала интенсивного разложения порового гидрата (t_d), °C
				Sh, %	*Kh*, д.ед.	*Ksc*, %	Тнач., °C	Ткон., °C	
Песок	14	1.80	0.4	4.0	0.05	8.5	– 4	1.0	– 1.3
Супесь	15	1.82	0.1	6.9	0.05	26	– 3	0.3	– 0.3
Суглинок	18	1.20	0.7	7.0	0.17	61	– 10	2.5	– 2.7

Исследуемые образцы имели влажность 14-18%, их засоленность менялась от 0.1 до 0.7%. В условиях самоконсервации образцы характеризовались гидратонасыщенностью (*Sh*) до 7%, а доля влаги, перешедшая в гидрат (*Kh*), достигала 17%. Расчет коэффициента самоконсервации (*Ksc*) показал, что наибольшая сохранность гидрата метана наблюдалась в образце суглинка (61% от первоначального значения в равновесных условиях), а наименьшая в песке (8.5%).

Динамику изменения термобарических условий в мерзлом гидратосодержащем образце при нагревании можно проследить на примере экспериментав песчаном грунте (рис. 1).

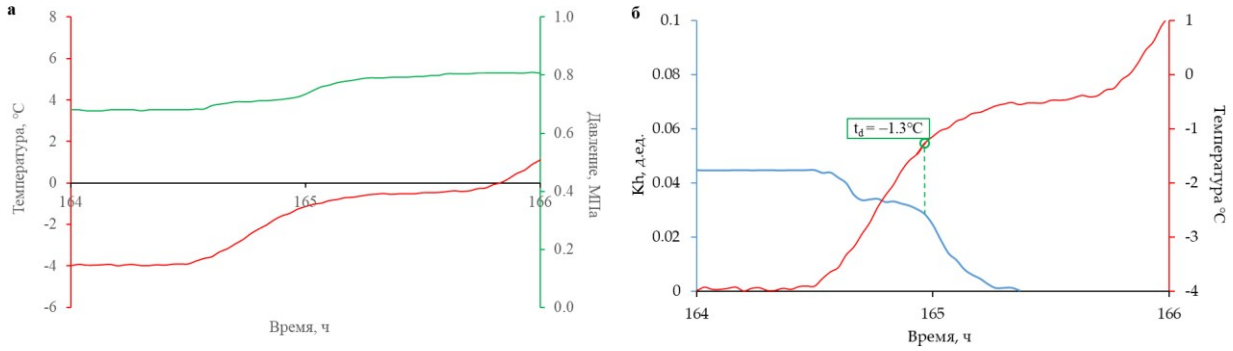


Рисунок 1. Динамика изменения температуры, давления (а) и коэффициента гидратности (*Kh*) (б) в образце мерзлого гидратосодержащего песка при повышении температуры с указанием температуры начала интенсивного разложения порового гидрата (t_d).

Анализ изменения температуры и давления во времени при нагревании данного мерзлого гидратонасыщенного образца показал, что в начале при повышении температуры давление в барокамере увеличивается незначительно вследствие расширения газа (на 0.02 − 0.03 МПа), в дальнейшем при температуре –1.3°C отмечается резкое увеличение газового давления за счет диссоциации порового гидрата метана. При пересчете этого давления на *Kh* фиксируется резкое уменьшение гидратосодержания при данной температуре.

Анализ температуры начала интенсивного разложения порового гидрата в исследуемых грунтах (табл. 1) показывает, что ее величина меняется от −0.3°С до −2.7°С и находится в диапазоне отрицательных температур ниже точки фазовых переходов поровый лед-вода (температура оттаивания) в данных образцах. Температура начала интенсивного разложения порового гидрата (t_d) зависит от состава мерзлой породы, прежде всего от ее засоленности. Так, наиболее высокая величина t_d зафиксирована в образце незасоленной супеси (–0.3°С) (табл. 1). С повышением засоленности в ряду супесь-песок-суглинок величина t_d смещается в область более низких температур (рис. 2). Полученные данные свидетельствуют, что в засоленных и глинистых грунтах температура разложения порового гидрата в метастабильном состоянии будет значительно ниже, чем в менее дисперсных и менее засоленных грунтах.

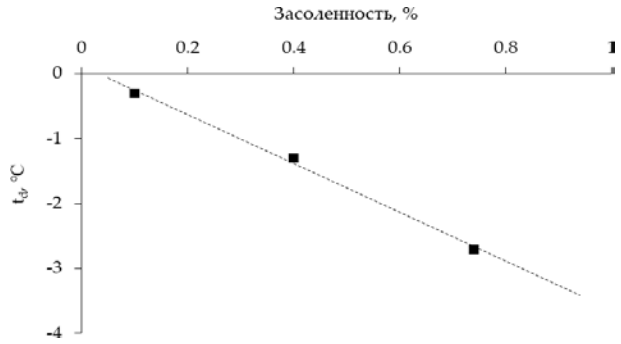


Рисунок 2. Изменение температуры начала интенсивного разложения порового гидрата (t_d) в мерзлых гидратосодержащих образцах в зависимости от засоленности.

Результаты экспериментального моделирования по исследованию влияния повышения температуры на поведение газогидратных образований в мерзлых породах позволяют говорить о важной роли температурных условий на существование метастабильных газогидратных образований в толщах мерзлых пород на арктическом шельфе.

Основываясь на существующих литературных данных и результатах, полученных в ходе экспериментальных исследований, можно следующим образом схематично представить основные стадии развития субаквальной криолитозоны, содержащую реликтовые газогидраты, при постепенном повышении температуры мерзлой толщи (рис. 3).

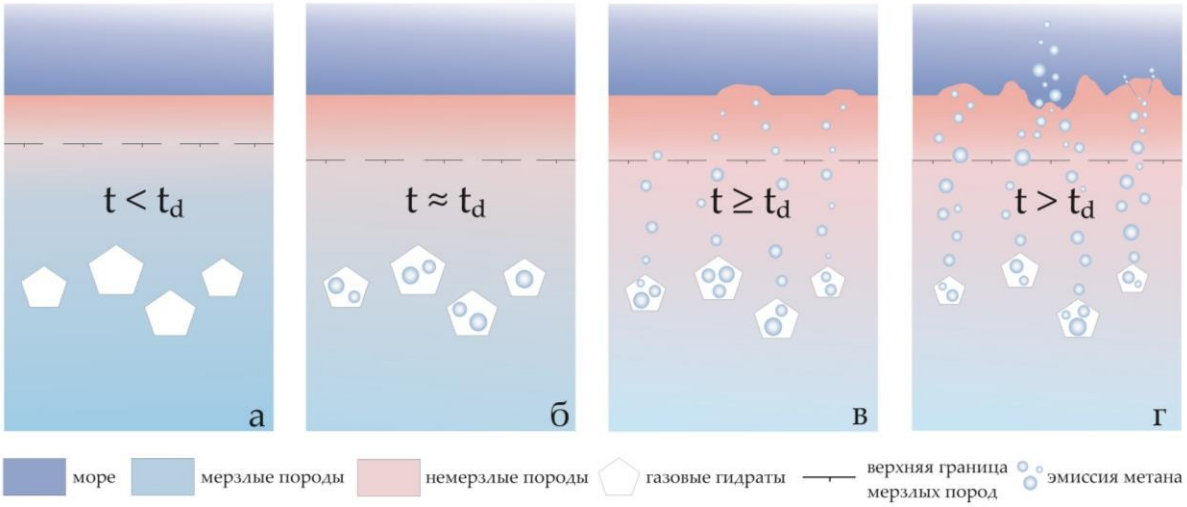


Рисунок 3. Схема эволюции субаквальной криолитозоны, содержащей реликтовые газогидраты, при постепенном повышении температуры мерзлой толщи [7].

При постепенном повышении температуры пород на начальном этапе трансгрессии моря в процессе взаимодействия морской воды с мерзлой толщей внутримерзлотные газогидратные образования остаются в метастабильном состоянии, если температура не превышает некоторое критическое значение (t_d) (рис. 3а). При достижении температуры пород критического значения газовые гидраты начинают диссоциировать (рис. 3б). При температуре равной или немного превышающей критическую происходит активное разложение газогидратных скоплений, а высвободившийся метан начинает мигрировать к поверхности морского дна, с возможным образованием характерных форм рельефа (рис. 3в). При значительном превышении критической температуры интенсивное разложение газовых гидратов может сопровождаться мощными газовыми выбросами и формированием пузырьковых потоков метана, которые хорошо фиксируются в водной толще. При этом на морском дне могут образовываться специфические структуры (покмарки, воронки и т.д.) (рис. 3г).

Таким образом, экспериментальное моделирование показало, что активная диссоциация внутримерзлотных газогидратов происходит при достижении некоторой критической температуры (ниже температуры таяния порового льда), зависящей от состава и засоленности мерзлых пород. В ходе экспериментов было выявлено, что критическая температура разложения реликтовых газогидратов в мерзлых породах может изменяться в широком диапазоне отрицательных температур (–3.0 … –0.3°C). Учитывая, что при деградации субаквальной криолитозоны в мерзлой толще формируется практически безградиентное поле, даже незначительное повышение температуры может привести к активизации объемного разложения внутримерзлотных гидратов, которое может сопровождаться мощными газовыми выбросами и формированием пузырьковых потоков метана из донных отложений.

Литература

1. Ruppel, C. D.; Kessler, J. D. The interaction of climate change and methane hydrates. Rev. Geophys., 2017, 55(1), pp. 126-168. https://doi.org/10.1002/2016RG000534

2. Dean, J. F.; Middelburg, J. J.; Röckmann, T.; Aerts, R.; Blauw, L. G.; Egger, M.; Jetten, M. S. M.; de Jong, A. E. E.; Meisel, O. H.; Rasigraf, O.; et al. Methane feedbacks to the global climate system in a warmer world. Rev. Geophys., 2018, 56(1), pp. 207-250. https://doi.org/10.1002/2017RG000559

3. Shakhova, N.; Semiletov, I.; Chuvilin, E. Understanding the permafrost–hydrate system and associated methane releases in the East Siberian Arctic Shelf. Geosciences, 2019, 9(6), 251. https://doi.org/10.3390/geosciences9060251

4. Thornton, B.F.; Geibel, M.C.; Crill, P.M.; Humborg, C.; Mörth, C.M. Methane fluxes from the sea to the atmosphere across the Siberian shelf seas. Geophys. Res. Lett., 2016, 43(11), pp. 5869-5877. https://doi.org/10.1002/2016GL068977

5. Чувилин, Е. М.; Давлетшина, Д. А.; Лупачик, М. В. Гидратообразование в мерзлых и оттаивающих метанонасыщенных породах. Криосфера Земли, 2019, т. 23, № 2, с. 50–61

6. Chuvilin, E.; Bukhanov, B.; Davletshina, D.; Grebenkin, S.; Istomin, V. Dissociation and self-preservation of gas hydrates in permafrost. Geosciences 2018, 8,12. https://doi.org/10.3390/geosciences8120431

7. Chuvilin, E.; Davletshina, D.; Ekimova, V.; Bukhanov, B.; Shakhova, N.; Semiletov, I. Role of warming in destabilization of intra permafrost gas hydrates in the Arctic shelf: experimental modeling. Geosciences 2019, 9, 407

ОЦЕНКА РОЛИ МИГРАЦИИ СОЛЕЙ В ДЕСТАБИЛИЗАЦИИ ВНУТРИМЕРЗЛОТНЫХ ГАЗОГИДРАТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

Екимова Валентина Васильевна[1], Чувилин Евгений Михайлович[1], Буханов Борис Александрович[1], Гребенкин Сергей Игоревич[1], Шахова Наталья Евгеньевна[2], Семилетов Игорь Петрович[3,4]

[1] Сколковский институт науки и технологий (Сколтех), г.Москва, valentina.ekimova@skoltech.ru

[2] ООО «МГУ-геофизика», г. Москва

[3] Институт экологии, национальный университет «Высшая школа экономики», г. Москва

[4] Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Введение

Одной из возможных причин активной эмиссии метана на Арктическом шельфе может быть дестабилизация газогидратных образований, существующих в толщах шельфовой мерзлоты [Shakhova и др., 2010; Анисимов, Забойкина, Кокорев, 2014; Serov и др., 2015; Chuvilin и др., 2018; Bogoyavlensky и др., 2018]. Эти газогидратные скопления могли быть образованы при промерзания горных пород на этапе регрессия моря около 18-20 тыс лет назад, когда происходило возникновение зон стабильности газовых гидратов [Романовский, Хуббертен, 2003; Chuvilin, Davletshina, 2018].

Кровля зоны стабильности газогидратов в это время подымалась до глубины 200 метров. При этом могло иметь место и формирование газогидратных образований на меньших глубинах за счет локального повышения давления в газонасыщенных горизонтах при промерзании. Образовавшиеся на небольшой глубине внутримерзлотные газогидраты в дальнейшем могли сохраниться и перейти в метастабильное (реликтовой состояние) благодаря геологическому проявлению эффекта самоконсервации газовых гидратов [Chuvilin и др., 2018]. В условиях деградации субаквальной мерзлоты именно реликтовые гидраты, находящиеся выше зоны стабильности газогидратов будут, прежде всего, подвержены процессу разложения, вызванного повышением отрицательной температуры пород, оттаиванием, а также засолением [Chuvilin и др., 2019a; Chuvilin и др., 2019b]. На сегодняшний день вопрос воздействия ионов солей на стабильность внутримерзлотных газогидратов изучен недостаточно, в том числе и в экспериментальном плане. Однако имеются методические разработки по исследованию миграции солей в мерзлых дисперсных породах [Ершов и др., 1993], которые позволяют провести экспериментальное моделирование и с гидратосодержащими мерзлыми породами и выполнить сравнение переноса ионов солей в мерзлых гидратосодержащих и не гидратосодержащих породах. В данной работе на основе экспериментального моделирования рассмотрены особенности солепереноса при взаимодействии гидратонасыщенных мерзлых пород с солевыми растворами и дана оценка условий диссоциации поровых гидратов и эмиссии метана при их разложении.

Методы

Экспериментальное моделирование диссоциации поровых газовых гидратов в мерзлых породах в результате миграции солей включало следующие этапы:

1) приготовление грунтовых образцов, содержащих поровые гидраты, с использованием барокамеры для искусственного гидратонасыщения;

2) заморозка в барокамере гидратонасыщенных образцов и перевод их в метастабильное состояние путем снижения давления до атмосферного при отрицательной температуре;

3) извлечение мерзлых гидратонасыщенных образцов из барокамеры и их контакт с охлажденным раствором NaCl при постоянной отрицательной температуре и атмосферном давлении.

В качестве объектов исследования были использованы природный кварцевый песок. Насыщение мерзлого грунта поровым гидратом метана производилось по специальной методике, подробно описанной в [Chuvilin и др., 2019a; Chuvilin и др., 2019b].

Для полученных мерзлых гидратосодержащих образцов перед их контактом с солевым раствором были определены начальные петрофизические характеристики (влажность, плотность, гидратосодержание). Затем гидратосодержащие образцы в условиях отрицательных температур приводились в контакт с охлажденным до температуры эксперимента солевым раствором NaCl. Эксперименты проводились при температурах от -2,5℃ до -4℃ и концентрации солевого раствора 0,2 н, продолжительность опыта в зависимости от условий эксперимента составляла от нескольких десятков минут до нескольких суток. Гидратосодержащие образцы через определенные промежутки времени снимались с контактного раствора. После взаимодействия с солевым раствором для каждого образца определялся ряд параметров, характеризующих содержание влаги, солей и газогидратов по длине раздельно в девяти-десяти слоях образцов толщиной 7-10 мм. Это позволило проследить динамику засоления, оттаивания и диссоциации газогидратных образований в мерзлых грунтовых образцах путем расчета основных параметров (газосодержания, коэффициента гидратности). Схема расчета описана в статье [Chuvilin и др., 2019b].

В ходе экспериментов изучалась динамика взаимодействия мерзлых гидратосодержащих образцов с солевым раствором во времени, а также влияние концентрации контактного раствора NaCl и температуры среды на процессы диссоциации порового гидрата в образцах.

Результаты и обсуждение

Экспериментальное моделирование показало, что при взаимодействии мерзлого гидратонасыщенного грунта с охлажденным солевым раствором происходит активная диффузия ионов солей в грунтовый образец, результатом которой является засоление образца. Ионы солей вызывают плавление льда (увеличение содержания жидкой фазы) и диссоциацию порового газового гидрата, в результате формируются два фронта – фронт оттаивания и фронт диссоциации газового гидрата. При этом было установлено, что фронт диссоциации порового газового гидрата опережает фронт оттаивания, что объясняется более высокими критическими концентрациями плавления льда по сравнению с критической концентрацией разложения гидрата. В табл.1 показана динамика движения фронта оттаивания и разложения порового газового гидрата по высоте образца от контакта с солевым раствором NaCl 0,2н при температуре -4 ^{o}C. В целом как демонстрируют экспериментальные данные фронт разложения поровых газогидратов может в несколько раз опережать фронт оттаивания.

Табл.1. Динамика движения фронтов оттаивания и разложения поровых гидратов по длине образца

Время, ч	Расстояние от области контакта с раствором соли (см)	
	Фронт оттаивания	Фронт диссоциации гидрата
3,9	0	1
17,5	1	2
25,5	1,8	3,5
29	1,9	4

По оценкам, выполненным Э.Д. Ершовым и др., (1997) (Ершов, Комаров, Чувилин, 1997) мерзлая толща за счет процессов засоления может оттаивать на десятки см в год (до 1 м). Используя данные, полученные в ходе экспериментального моделирования можно предположить, что глубина проникновения фронта диссоциации газогидратных образований

в мерзлых породах может достигать метра и более при температуре -4°С и концентрации солевого раствора 0,2н.

Данные по изменению гидратосодержания мерзлых гидратонасыщенных грунтов при взаимодействии с солевым раствором были использованы для оценки параметров эмиссии метана из мерзлых образцов при разложении поровых гидратов в зависимости от температуры. Были получены значения объемов выделяющегося метана при диссоциации порового гидрата в результате миграции солей при их взаимодействии с мерзлых гидратосодержащими образцами. Концентрация солей в эксперименте составляла 0,2 н, а температура около -2,5 °С. По нашим оценкам эмиссия метана с одного квадратного метра поверхности пород взаимодействующих с солевым раствором может достигать несколько сотен $м^3$ в год при гидратонасыщенности около 10%.

С учетом экспериментальных данных и анализа имеющихся материалов, нами предложена схема взаимодействия низкотемпературной донной морской водой и мерзлыми гидратонасыщенными породами на Арктическом шельфе, которая рассматривает миграцию солей как фактор дестабилизации метастабильных (реликтовых) гидратов (рис.1).

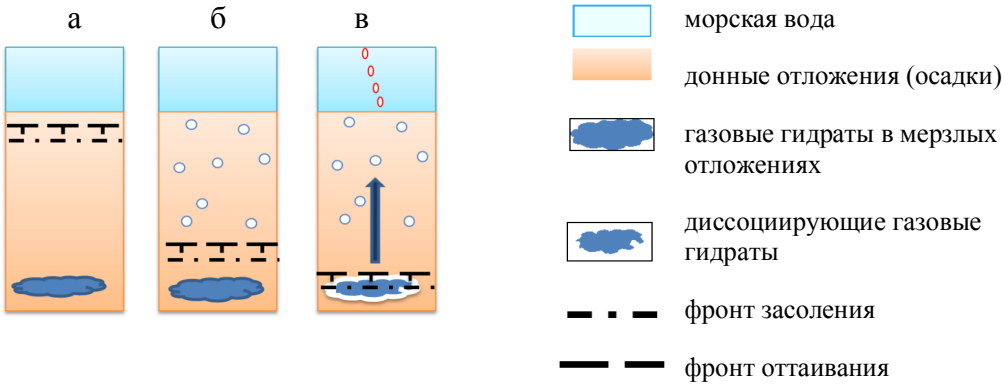


Рис.1. Предполагаемая модель взаимодействия охлажденной морской воды с мерзлыми отложениями, содержащими реликтовые газовые гидраты: а) исходное состояние; б) проникновение морской соли в многолетнемерзлые породы; в) взаимодействие фронта засоления с внутримерзлотными скоплениями газовых гидратов.

На начальном этапе (рис.1-а) после трансгрессии арктического моря наблюдается активное взаимодействие морской воды с нижележащими мерзлыми породами в результате чего происходит изменение температурного режима мерзлых толщ и формирование фронта оттаивания. Со временем скорость оттаивания подводной мерзлоты понижается. При этом наблюдается проникновение морской воды в оттаивающую зону (рис.1-б). Поскольку мерзлые породы являются проницаемыми для ионов солей, наблюдается опережающее движение ионов солей из морской воды относительно фронта оттаивания. При миграции и накоплении ионов солей в мерзлых отложениях происходит понижение температуры фазовых переходов и повышение содержания жидкой фазы в грунтах. В результате этого снижается замедление фронта оттаивания. Мигрирующие в мерзлых отложениях ионы солей при достижении горизонтов, содержащих реликтовые гидраты будут их дестабилизировать и способствовать их активной диссоциации и высвобождению метана (рис.1-в), так формируется второй фронт фазовых переходов – фронт диссоциации газовых гидратов. Он возникает при достижении некоторой критической концентрации солей в мерзлой гидратосодержащей породе. Эта концентрация, как показывают экспериментальные исследования зависит от состава гидратосодержащих отложений и термобарических условий. В ходе фазовых переходов лед-вода/гидрат-вода(лед), газ, вызванных солепереносом проницаемость засоляемых мерзлых пород повышается. Метан, образующийся при диссоциации газовых гидратов в дальнейшем мигрирует к поверхности дна и попадает в морскую воду, где частично растворяется, окисляется, а также диффундирует сквозь водную толщу и уходит в атмосферу (рис.1-в).

Проведенные исследования демонстрируют роль солепереноса в диссоциации природных внутримерзлотных газогидратных образований, а также способствуют пониманию возможных причин активной эмиссии метана на арктическом шельфе.

Заключение

Для оценки условий диссоциации внутримерзлотных газогидратов при солепереносе на арктическом шельфе было проведено экспериментальное моделирование взаимодействия гидратонасыщенных мерзлых пород с солевыми растворами. В ходе экспериментов было показано, что миграция солей в мерзлые гидратосодержащие породы активизирует разложение поровых газовых гидратов, а также ускоряет их оттаивание. При этом экспериментально было зафиксировано, что в процессе переноса и накопления солей происходит формирование двух фронтов: оттаивания мерзлых пород и разложения порового газового гидрата. В ходе исследования была дана оценка интенсивности оттаивания (до 1 м в год) и диссоциации порового гидрата (первые десятки метров в год) в мерзлых породах результате солепереноса. За счет миграции солей оттаивания мерзлых гидратосодержащих пород может достигать 1 м в год, а глубина проникновения фронта разложения поровых гидратов - нескольких метров год.

По данным экспериментального моделирования была выполнена оценка эмиссии метана при разложении поровых газогидратов в мерзлых породах в ходе солепереноса, которая может составлять несколько сотен м3 в год с единицы поверхности.

Работа поддержана Российским научным фондом (РНФ) (гранты № 16−17−00051 и 18-77-10063).

Список литературы

Анисимов, О. А., Забойкина, Ю. Г., Кокорев, В. А., Юрганов Л. Н. Возможные причины эмиссии метана на шельфе морей Восточной Арктики // Лед и снег. – 2014. – №2. – С. 69-81.

Романовский Н. Н., Хуббертен Х. В., Гаврилов А. В., Елисеева А. А., Типенко Г. С., Холодов А. Л., Романовский В. Е. Эволюция мерзлых толщ и зоны стабильности гидратов газов в среднем плейстоцене-голоцене на шельфе восточной части Евразийской Арктики // Криосфера Земли. – 2003. – Т. 7. – №. 4. – С. 51-64.

Bogoyavlensky V., Kishankov A., Yanchevskaya A., Bogoyavlensky I. Forecast of Gas Hydrates Distribution Zones in the Arctic Ocean and Adjacent Offshore Areas // Geosciences. – 2018. – Т. 8. № 12. – P. 453.

Chuvilin E., Bukhanov B., Davletshina D., Grebenkin S., Istomin V. Dissociation and Self-Preservation of Gas Hydrates in Permafrost // Geosciences. – 2018. – Т. 8. № 12. – P. 431:1-431:12.

Chuvilin E., Davletshina D., Ekimova V., Bukhanov B., Shakhova N., Semiletov I. Role of warming in destabilization of intrapermafrost gas hydrates in the arctic shelf: Experimental modeling // Geosciences. – 2019a. – Т. 9. – P. 407:1-407:12.

Chuvilin E., Ekimova V., Bukhanov B., Grebenkin S., Shakhova N., Semiletov I. Role of Salt Migration in Destabilization of Intra Permafrost Hydrates in the Arctic shelf: Experimental Modeling // Geosciences. – 2019b. – Т. 9. № 4. – P. 188:1-188:18.

Chuvilin E., Davletshina D. Formation and Accumulation of Pore Methane Hydrates in Permafrost: Experimental Modeling // Geosciences. – 2018. – Т. 8. № 12. – P. 467:1-467:15.

Serov P., Portnov A., Mienert J., Semenov P., Ilatovskaya P. Methane release from pingo-like features across the South Kara Sea shelf, an area of thawing offshore permafrost // J. Geophys. Res. F Earth Surf. – 2015. – Т. 120. № 8. – P. 1515–1529.

Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson Ö. Extensive Methane Venting to the Atmosphere from Sediments of the East Siberian Arctic Shelf // Science. – 2010. – Т. 327. – №. 5970. – P. 1246-1250.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕКЛИКТОВОЙ СУБАКВАЛЬНОЙ МЕРЗЛОТЫ И ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Щур Николай Алексеевич[1], Семёнова Анастасия Андреевна[1], Матвеева Татьяна Валерьевна[1]

[1] ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана», Санкт-Петербург

Введение

Сведения о распространении реликтовой субмариной мерзлоты (РСМ) на мелководном шельфе арктических морей можно получить в результате буровых и сейсморазведочных работ [Rekant et al, 2015], но в связи с тем, что натурных данных очень немного, основным способом оценить масштаб и характер распространения РСМ и обусловленной ею зоны стабильности газовых гидратов (ЗСГГ), является математическое моделирование и ГИС-технологии.

Целью данной работы является изложение методики расчета и картирования мощности РСМ и ЗСГ для моделирования эволюции, «выклинивания» с глубиной и прогнозного картирования РСМ и ЗСГГ моря Лаптевых.

Вычисление мощностей РСМ и ЗСГГ

Постановка задачи. Большинство работ, посвященных моделированию реликтовой мерзлоты в своей основе предполагают решение задачи Стефана, как наиболее подходящей физической модели для описания изменения температуры отложений во времени. Нами используется такой же подход, в ходе моделирования решается нестационарное одномерное уравнение теплопроводности, позволяющее определить профиль распределения температур в толще отложений: $\rho C\frac{\partial T}{\partial t} = \lambda\frac{\partial^2 T}{\partial t^2}$, где ρ – плотность, С – теплоемкость, λ – теплопроводность отложений. Для расчета нестационарного поля температуры в толще отложений мы использовали программный комплекс ANSYS Fluent 14.2 (студенческая версия) и программу обработки данных, написанную на Python. Полученный профиль сопоставляется с кривой замерзания морской воды и равновесной кривой образования/разложения газовых гидратов соответственно (рис.1).

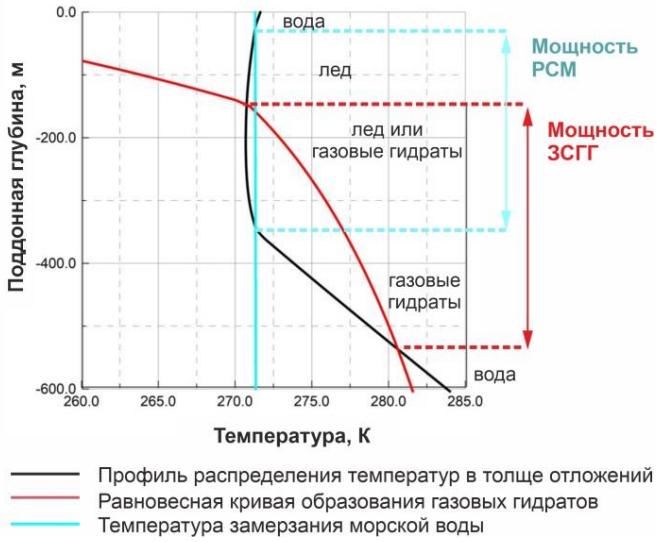


Рис. 1. Пересечение кривых для определения мощности РСМ и ЗСГГ.

В качестве кривой замерзания воды нами принята константа -1,8°С. В качестве равновесной кривой образования/разложения газовых гидратов нами использовалась кривая, рассчитанная по Sloan [1998] для системы «гидрат – вода+метан + 3,5% NaCl».

Граничные условия представляют собой значения температур, заданные на верхней и нижней границе в определенный момент времени. Верхнее граничное условие определяется палеоклиматической обстановкой, нижнее – геологическими условиями (величиной теплового потока).

Благоприятная для образования РСМ и ЗСГГ палеоклиматическая обстановка существовала в позднем кайнозое, который связан с активизацией восходящих тектонических движений. В связи с чем, ведущая роль в формировании палеогеографических обстановок на шельфе арктических морей принадлежала колебаниям уровня моря, следствием чего явились неоднократные смены регрессивных и трансгрессивных циклов [Соловьев и др., 1987]. Мы использовали представление о скачкообразном изменении верхних граничных условий, согласующиеся со скачкообразным изменением температуры на поверхности отложений при смене субаэральных и субаквальных обстановок базируясь на кривых эвстатического изменения уровня моря, заимствованных из [Соловьев и др., 1987 – сценарий 1, Romanovskii, Hubberten 2001 – сценарий 2, deBoer et al, 2014 – сценарий 3 и др.]. По каждому сценарию выявлены времена начала и конца регрессии, а также продолжительности промерзания для современных глубин воды 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 м. Эти данные использовали для задания верхнего граничного условия в виде кусочно-постоянных функций. Для экстремальных оценок в качестве субаэральных температур согласно соответствующим источникам приняты минимальные температуры позднего плейстоцена для сценария 1 (-13,5ºС), для сценария 2 (-22,5ºС). Для сценария 3 в каждый момент времени при субаэральной обстановке задана температура согласно сценарию. Для субаквального периода во всех расчетах была принята температура -1,5ºС.

Для задания нижнего граничного условия принимается константа. В данной работе в результате анализа литературных источников [Соловьев и др., 1984, Романовский и др., 2006] были приняты два значения величины теплового потока: 60 мВт/м^2 в качестве характерной величины ТП для ненарушенных участков шельфа и 100 мВт/м^2 в качестве повышенного значения ТП.

Характеристика отложений. Решая задачу Стефана, необходимыми параметрами/переменными для моделирования мощности РСМ и ЗСГГ являются теплофизические свойства отложений – теплоемкость и теплопроводность, которые зависят от пористости, плотности и состава отложений. Нами была принята толща отложений с максимальной мощностью в пределах акватории, состоящая из четырех компонентов – минерального скелета, воды, льда и гидрата метана. Теплофизические параметры для каждого из этих компонентов заданы по литературным данным. Изменение пористости с глубиной задано по закону Ати: $\varphi(z) = \varphi_0 \cdot exp(-\varphi_a \cdot z)$, где φ_0 – пористость поверхностного осадка, φ_a – коэффициент уплотнения.

Эффективные значения теплопроводности и теплоемкости для всей толщи отложений (учитывая пористость и гидратосодержание) рассчитаны согласно Гольмшток [2008]. Чтобы учесть скрытую теплоту мы использовали линейную кривую незамерзшей воды с широким перепадом температур (±0,5 ºС). Похожий подход был применен к гидратосодержащим отложениям, считалось, что гидратосодержание линейно меняется от 0% при Тр–0,5ºС до n% при Тр+0,5ºС, где Тр – это равновесная температура. Таким образом, наличие льда и гидрата в отложениях жестко привязано к его температуре. Данный подход позволяет учесть скрытую теплоту льдо- и газогидратообразования за счет локального увеличения теплоемкости. В результате, в нашей работе теплофизические свойства осадка непрерывно меняются по глубине при одинаковом фазовом составе и скачкообразно при фазовых переходах.

Картирование мощностей РСМ и ЗСГГ

Нами для картирования мощности РСМ и ЗСГГ была создана сеть точек с глубинами воды согласно батиметрии IBCAO [Международная…] с разрешением 10 км (0,1 градус по широте, 0,5 градус по долготе). Каждой точке присвоены значения теплового потока 60 мВт/м^2. Значения мощности РСМ и ЗСГГ для каждой точки были получены путем линейной

интерполяции расчетных значений, выполненных для глубин воды 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 м при заданном гидратосодержании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена методика моделирования РСМ и ЗСГГ на шельфе арктических морей. Описана математическая постановка задачи, особенности постановки граничных условий и теплофизических свойств отложений. Предложена методика расчета и картирования мощности РСМ и ЗСГГ.

Методика расчета имеет ряд особенностей. В частности, возможно учитывать влияние процентного содержания ГГ в отложениях на динамику распространения РСМ и ЗСГГ. Это возможно благодаря учету скрытой теплоты гидратообразования в тепловом балансе осадка при фазовых переходах гидрат-вода.

Теплофизические свойства отложений непрерывно изменяются по глубине с одинаковым фазовым составом и скачкообразно при фазовых переходах. В большинстве других работ теплофизические свойства изменяются кусочно-постоянно или не меняются совсем.

ЛИТЕРАТУРА

Гольмшток А.Я. К вопросу о роли разломообразования в формировании придонных залежей газовых гидратов // Вопросы геофизики (Ученые записки СПбГУ). 2008б. Вып. 41. С. 80–111.

Международная батиметрическая карта (The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)) International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.gebco.net/data_and_products/printable_maps/ibcao_map/ (дата обращения — 25.07.2020).

Романовский Н. Н., Елисеева А. А., Гаврилов А. В., Типенко Г. С., Хуббертен Х.В, Многолетняя динамика толщ мерзлых пород и зоны стабильности гидратов газов в рифтовых структурах арктического шельфа восточной Сибири (Сообщение2), Криосфера Земли, 2006, т. X, № 1, с. 29–38

Соловьев В.А., Гинсбург Г.Д., Михалюк Ю.Н., Телепнев Е.В., Борисов В.В., Иванов В.Л., Станищева О.Н., Яшин Д.С. Проблемы газовых гидратов в недрах Мирового океана и газогидратоносность Арктических акваторий (отчет по т.791), Приложение: Схема геотермической изученности Северного Ледовитого океана. Фонды ВНИИОкеангеология, СПб, 1984, 323 с.

Соловьев В.А., Гинсбург Г.Д., Телепнев Е.В., Михалюк Ю.Н. Криогеотермия и гидраты природного газа в недрах Северного Ледовитого океана. - Л.: ПГО «Севморгеология». 1987. - 150 с.

de Boer, B; Lourens, L.J.; van de Wal, R.S.W., Global 5 Million Year Sea Level, Temperature, and d18Osw Reconstructions https://www.ncdc.noaa.gov/paleo-search/study/19564 (Дата обращения 13.09.2020)

Nicolsky D.J., Romanovsky V.E., Romanovskii N.N., Kholodov A.L., Shakhova N.E., Semiletov I.P. Modeling sub-sea permafrost in the East Siberian Arctic Shelf: The Laptev Sea region // Journal of Geophysical Research. 2012. V. 117, F03028, doi:10.1029/2012JF002358.

Rekant P., Bauch A., Schwenk T., Portnov A., Gusev E., Spiess V., Cherkashov G., Kassens H. Evolution of subsea permafrost landscapes in Arctic Siberia since the Late Pleistocene: a synoptic insight from acoustic data of the Laptev Sea // Arktos. 2015. V. 1. P. 1-15.

Romanovskii N.N., Hubberten, H.W. Results of Permafrost Modelling of the Lowlands and Shelf of the Laptev Sea Region, Russia // Permafrost and Periglacial Processes. 2001. V. 12. P. 191–202.

Sloan E.D. Gas hydrates: review of physical/chemical properties // Energy & Fuels. 1998. Vol. 12. No 2. P. 191–196.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ЭВОЛЮЦИЮ РЕЛИКТОВОЙ СУБМАРИННОЙ МЕРЗЛОТЫ И ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Семёнова Анастасия Андреевна[1], Матвеева Татьяна Валерьевна[1], Щур Николай Алексеевич[1]

[1] ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана», Санкт-Петербург

Введение

Активизация восходящих тектонических движений на шельфе арктических морей в позднем кайнозое обусловила колебания уровня моря, следствием чего явились неоднократные смены регрессивных и трансгрессивных циклов. Обнаженные в процессе отступления моря участки шельфа подверглись глубокому субаэральному промерзанию в ледниковый период. В ходе формирования многолетней мерзлоты трансформировались существующие залежи газа, в результате чего могли образовываться газовые гидраты (ГГ). По мере повышения уровня моря в голоцене начался процесс деградации мерзлоты и обусловленной ею ГГ. В настоящие дни скопления ГГ на мелководном шельфе арктических морей ограничены областью распространения именно реликтовой субаквальной мерзлоты (РСМ) в пределах бассейнов с достаточно мощным осадочным чехлом, предполагающим высокий потенциал генерации газа [Соловьев и др., 1987].

Сведений о мерзлоте на шельфе арктических морей, полученных в ходе буровых и сейсморазведочных работ, очень мало [Rekant et al, 2015], сведения о ГГ на шельфе арктических морей отсутствуют. Поэтому основным способом оценить эволюцию РСМ и ГГ (зону стабильности ГГ (ЗСГГ)), а также влияющие на нее факторы, является математическое моделирование.

В данной работе приведены результаты эволюции РСМ и ЗСГГ, полученные по данным математического моделирования по двум палеогеографическим сценариям, двум значениям теплового потока и четырем значениям гидратосодержания.

Материалы и методы

В ходе моделирования решалось нестационарное одномерное уравнение теплопроводности, позволяющее определить профиль распределения температур в толще отложений: $\rho C\frac{\partial T}{\partial t} = \lambda\frac{\partial^2 T}{\partial t^2}$, где ρ – плотность, С – теплоемкость, λ – теплопроводность отложений. Полученный профиль сопоставлялся с кривой замерзания морской воды и равновесной кривой образования/разложения ГГ соответственно. В качестве кривой замерзания воды нами принята константа -1,8ºС. В качестве равновесной кривой образования/разложения ГГ нами использовалась кривая, рассчитанная по Sloan [1998] для системы «гидрат – вода+метан + 3,5% NaCl». Решая задачу Стефана, необходимыми параметрами/переменными для моделирования мощности РСМ и ЗСГГ являются теплофизические свойства отложений – теплоемкость и теплопроводность, которые зависят от пористости, плотности и состава отложений. Нами была принята толща отложений, состоящая из четырех компонентов – минерального скелета, воды, льда и гидрата метана, теплофизические параметры которых заданы по литературным данным. Изменение пористости с глубиной задано по закону Ати: $\varphi(z) = \varphi_0 \cdot exp(-\varphi_a \cdot z)$, где φ_0 – пористость поверхностного осадка, φ_a – коэффициент уплотнения. Эффективные значения теплопроводности и теплоемкости для всей толщи отложений (учитывая пористость и гидратосодержание) рассчитаны согласно Гольмшток [2008] с модификациями, позволяющими учесть скрытую теплоту образования льда и ГГ за счет локального увеличения теплоемкости. Теплофизические свойства отложений непрерывно изменяются по глубине с одинаковым фазовым составом и скачкообразно при фазовых переходах.

Факторы, влияющие на эволюцию РСМ и ЗСГГ

В ходе работы было исследовано влияние трех факторов, контролирующих образование и развитие вечной мерзлоты, а также условия устойчивости гидратов:

1. Палеогеографический сценарий – продолжительность промерзания во время регрессии и затопления в период трансгрессии, а также величина температурного скачка (перепада температур между температурой поверхности осадка в субаквальной и в субаэральной обстановке). От этих параметров зависит, насколько эффективно происходило субаэральное промерзание отложений и, как следствие, длительность деградации РСМ и ЗСГГ. В работе мы использовали представление о скачкообразном изменении верхних граничных условий, согласующиеся со скачкообразным изменением температуры на поверхности отложений при смене субаэральных и субаквальных обстановок базируясь на кривых эвстатического изменения уровня моря, заимствованных из [Соловьев и др., 1987 – сценарий 1, Romanovskii, Hubberten 2001 – сценарий 2] (рис. 1). По каждому сценарию выявлены времена начала и конца регрессии, а также продолжительности промерзания для современных глубин воды 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 м. Для субаквального периода была принята температура -1,5ºС. Для субаэрального периода температура скачкообразно менялась на величину температурного скачка 12ºС (сценарий 1) и 21ºС (сценарий 2).

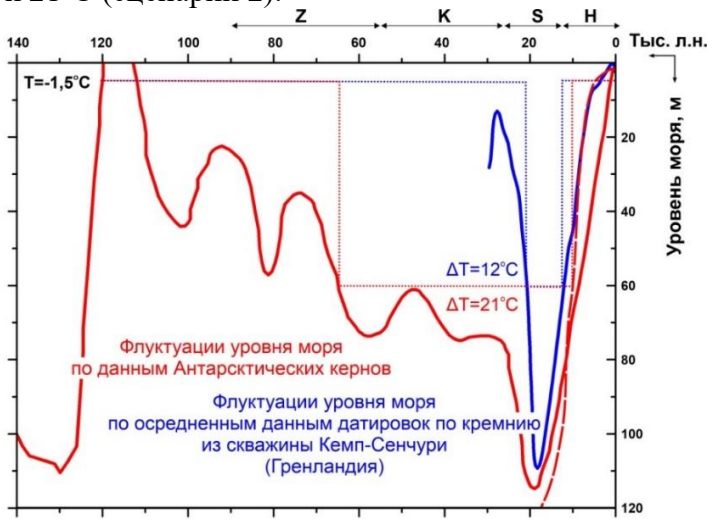


Рис. 1. Колебания уровня моря согласно сценарию 1 (синяя линия) и сценарию 2 (красная сплошная линия из Гаврилов и др. [2000], пунктирная – из Fairbanks [1989]) и функции скачкообразного изменения температуры на верхней границе для современной глубины воды 60 м (мелкий пунктир). Z – Зырянское, K – Каргинское, S – Сартанское оледенения, H – Голоцен.

2. Тепловой поток из недр Земли, который в свою очередь зависит от геоструктурной принадлежности. Чем выше тепловой поток, тем больше он препятствует промерзанию и способствует деградации РСМ и ЗСГГ. Расчеты производились с тепловым потоком (ТП) 60 мВт/м^2 в качестве характерной величины ТП для шельфа моря Лаптевых и 100 мВт/м^2 в качестве повышенного значения ТП согласно [Соловьев и др., 1984, Романовский и др., 2006]

Гидратосодержание – содержание ГГ в поровом пространстве отложений. Наличие ГГ оказывает тепловое воздействие благодаря высокой теплоте гидратообразования и теплоизолирующим свойствам. Расчеты проводились при 5%, 25%, 50% и 100% гидратосодержании.

Результаты математического моделирования эволюции РСМ и ЗСГГ

На рисунке 1 приведен пример результата моделирования эволюции. Зона РСМ и ЗСГГ не полностью совпадают и перекрываются, ЗСГГ находится как внутри мерзлоты, так и под нею на глубинах от 250 м (что определяется равновесной кривой). Сначала образуется вечная мерзлота, а в момент, когда она достигает определенной мощности, создаются благоприятные условия для сохранения ГГ. Для сценария 2 временной интервал заметно меньше, что связано

с наибольшим скачком температуры. После смены палеообстановки начинает деградировать РСМ, опускание кровли и поднятие подошвы происходит плавно. Причем сверху мерзлота деградирует медленнее, чем снизу, поскольку значительные величины ТП сверху (с морского дна) присутствуют только в самом начале субаквального периода пока температура не выровняется, в то время как снизу ТП снизу всегда постоянен. Быстрое выравнивание температуры (повышение до -1,8°С) внутри мерзлоты приводит к резкому изменению кровли ЗСГГ в начале трансгрессии (рис. 2).

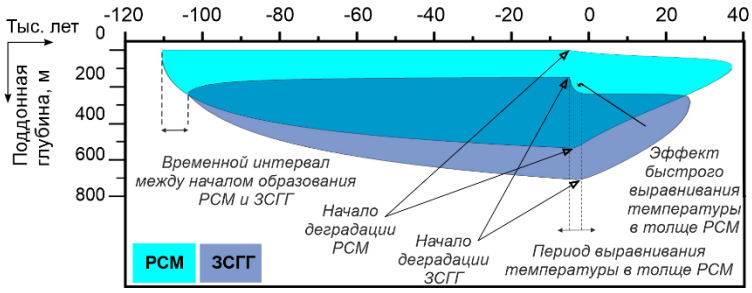


Рис. 2. Пример результата эволюции РСМ и ЗСГГ для сценария 2 и ТП 60 мВт/м^2 с гидратосодержанием 5% для глубины воды 10 м.

Сравнивая динамику изменения мощности РСМ и ЗСГГ во времени по данным указанных выше сценариев, можно предположить, что более длительное замерзание и более низкая субаэральная температура (как в сценарии 2) увеличивают мощность РСМ в 1,5-2 раза. Причем, влияние сценария на эволюцию мощности мерзлоты при ТП 60 мВт/м^2 более значительно на малых глубинах, а при ТП 100 мВт/м^2 на больших. ЗСГГ по сценарию 1 практически не образуется, поэтому возможно оценить влияние ТП на мощность только для сценария 2. Так, при повышенном ТП мощность ЗСГГ в 3-5 раз меньше в зависимости от глубины воды, причем чем больше глубина воды, тем больше влияние. Нами был выполнен расчет в будущее с придонной температурой -1,5°С. Прогнозное время деградации РСМ для сценария 2 в несколько раз дольше (максимум 36,6 против 9 тыс. лет).

Помимо палеосценария и ТП в данной работе мы включили параметр содержания ГГ и проследили, как их отсутствие или наличие в отложениях влияет на мощность и эволюцию РСМ и ЗСГГ. Получили следующие результаты: наличие ГГ заметно предотвращает промерзание на большую глубину за счет удельной теплоты гидратообразования и снижения теплопроводности. С другой стороны, с началом трансгрессии присутствие ГГ замедляет процесс оттаивания, что способствует сохранению условий стабильности в течение более длительного времени.

Заключение

В работе произведено моделирование эволюции РСМ и ЗСГГ, результаты которого позволяют: 1. оценить время начала образования РСМ и ЗСГГ, 2. выявить особенности динамики кровли и подошвы РСМ и ЗСГГ в период смены обстановок, 3. оценить мощности РСМ и ЗСГГ в любой момент времени для каждой глубины воды, включая максимальные мощности на границе смены обстановок, 4. спрогнозировать существование РСМ и ЗСГГ в наши дни и на будущее.

Расчеты производились при разных палеосценариях, значениях ТП. Выбор палеогеографического сценария и ТП имеет решающее значение для моделирования. Оба эти фактора определяют, как текущую мощность РСМ и ЗСГГ и ее выклинивание с глубиной, так и их изменение во времени и прогноз их существования в будущем.

Впервые в тепловом балансе учитывалось содержание ГГ: 1) наряду с учетом скрытой теплоты образования льда учитывается скрытая теплота гидратообразования, 2) учитываются теплоизоляционные свойства ГГ и их влияние на геометрию РСМ и ЗСГГ. Сравнивая результаты моделирования с разными гидратосодержаниями, можно сделать следующие вывод, что даже при гидратосодержании 5% следует ожидать уменьшение мощности ЗСГГ на несколько метров и увеличение длительности ее существования на несколько тыс. лет.

Список литературы

1. *Гаврилов А.В., Тумской В.Е., Романовский Н.Н.* Реконструкция динамики среднегодовых температур пород на приморских низменностях Якутии и арктическом шельфе за последние 420 тыс. лет // Криосфера Земли, 2000, т. IV, N4, с. 3-14.
2. *Гольмшток А.Я.* К вопросу о роли разломообразования в формировании придонных залежей ГГ // Вопросы геофизики (Ученые записки СПбГУ). 2008б. Вып. 41. С. 80–111.
3. *Романовский Н.Н., Хуббертен Х.В.* Криолитозона и зона стабильности гидратов газов на шельфе моря Лаптевых (основные результаты десяти лет российско-германских исследований) // Криосфера Земли. 2006. Т. X, № 3. С. 61–68.
4. *Соловьев В.А., Гинсбург Г.Д., Михалюк Ю.Н., Телепнев Е.В., Борисов В.В., Иванов В.Л., Станищева О.Н., Яшин Д.С.* Проблемы газовых гидратов в недрах Мирового океана и газогидратоносность Арктических акваторий (отчет по т.791), Приложение: Схема геотермической изученности Северного Ледовитого океана. Фонды ВНИИОкеангеология, СПб, 1984, 323 с.
5. *Соловьев В.А., Г.Д. Гинсбург, Е.В. Телепнев, Ю.Н. Михалюк.* Криогеотермия и гидраты природного газа в недрах Северного Ледовитого океана. - Л.: ПГО «Севморгеология». 1987. - 150 с.
6. *Fairbanks R.J.* A 17 000-years glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep ocean circulation // Nature. 1989. V. 342. P. 637–642.
7. *Rekant P., Bauch A., Schwenk T., Portnov A., Gusev E., Spiess V., Cherkashov G., Kassens H.* Evolution of subsea permafrost landscapes in Arctic Siberia since the Late Pleistocene: a synoptic insight from acoustic data of the Laptev Sea // Arktos. 2015. V. 1. P. 1-15.
8. *Romanovskii N.N., Hubberten, H.W.* Results of Permafrost Modelling of the Lowlands and Shelf of the Laptev Sea Region, Russia // Permafrost and Periglacial Processes. 2001. V. 12. P. 191–202.
9. *Sloan E.D.* Gas hydrates: review of physical/chemical properties // Energy & Fuels. 1998. Vol. 12. No 2. P. 191–196.

ПРОГНОЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АССОЦИИРОВАННЫХ С РЕЛИКТОВОЙ МЕРЗЛОТОЙ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Смирнов Юрий Юрьевич[1], Семёнова Анастасия Андреевна[2],
Щур Николай Алексеевич[2], Матвеева Татьяна Валерьевна[2]
[1]ФГБУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»; 192007, Воронежская улица, д. 79, Санкт-Петербург, yusemef@gmail.com
[2]ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана»; 190121, Английский проспект, д. 1, Санкт-Петербург,

Введение

Шельф моря Лаптевых является перспективным для изучения газогидратоносности за счет высокой мощности осадочного чехла из-за большой площади мелководных акваторий, подвергшихся глубокому субаэральному промерзанию в период регрессий. Для того, чтобы дать прогнозную оценку гидратоносности, необходимо проанализировать криогетермические условия, т.к. нахождение газовых гидратов (ГГ) на шельфе арктических морей связано с реликтовой субмариной мерзлотой (РСМ). Цель данного исследования - прогнозирование масштаба и характера распространения реликтовой подводной вечной мерзлоты и зоны устойчивости попутных ГГ в море Лаптевых. В работе приведены результаты прогноза РСМ и зоны стабильности газовых гидратов (ЗСГГ), полученные по данным одномерного математического моделирования.

Материалы и методы

В ходе моделирования решается нестационарное одномерное уравнение теплопроводности, позволяющее определить профиль распределения температур в толще отложений: $\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial t^2}$, где ρ – плотность, С – теплоемкость, λ – теплопроводность отложений. Задача Стефана решалась по неявной разностной схеме в ПО, написанном на языке программирования Python. Необходимыми параметрами/переменными для моделирования являются теплофизические свойства отложений – теплоемкость и теплопроводность, которые зависят от пористости, плотности и состава отложений. В качестве модели нами была принята толща отложений, состоящая из четырех компонентов – минерального скелета, воды, льда и гидрата метана, теплофизические параметры которых заданы по литературным данным. Изменение пористости с глубиной задано по закону Ати: $\phi(z) = \phi_0 \cdot exp(-\phi_a \cdot z)$, где ϕ_0 – пористость поверхностного осадка, ϕ_a – коэффициент уплотнения. Эффективные значения теплопроводности и теплоемкости для всей толщи отложений (учитывая пористость и гидратосодержание) рассчитаны согласно Гольмшток [2008] с модификациями, позволяющими учесть скрытую теплоту образования льда и ГГ за счет локального увеличения теплоемкости. Теплофизические свойства отложений непрерывно изменяются по глубине с одинаковым фазовым составом и скачкообразно при фазовых переходах. В результате проведенных расчетов были получены массивы температур, демонстрирующие распределение характеристики в осадочном слое по времени и пространству до поддонной глубины 10 тыс. метров. Мощность ЗСГГ определялась по пересечению изотерм внутри осадочного слоя со значениями равновесной кривой ГГ, рассчитанной по Sloan [1998] для системы «гидрат – вода+метан + 3,5% NaCl». Мощность РСМ определялась сопоставлением расчетного профиля температур с кривой замерзания морской воды -1,8ºС.

Для задания верхнего граничного условия при расчетах была использована палеореконструкция из [de Boer, 2014], основанная на изотопных данных δ18O, полученных из ледяного керна станции Восток (Антарктида) и смоделированных на масштабе 5 млн. лет с шагом по времени 100 лет с помощью системы 4-х моделей. Реконструкция включает сведения об эвстатическом колебании уровня моря (Рис.1) и аномальных значениях субаэральных температур (Та) на горизонтах 1.25 -2 м над поверхностью в Северном полушарии (Рис.2). В качестве субаэральной температуры, относительно которой рассчитывался ряд палеотемператур (Т0), принята вычисленная среднеклиматическая субаэральная температура из архива CDAS-1 [NCEP-NCAR] за 20 лет (с 1999 по 2019 годы) в районе острова Котельный, которая в настоящий момент времени составляет -12°С. Расчеты так же проводились и при Т0 = 0ºС для прогноза РСМ и ЗСГГ в условиях, где современные субаэральные температуры выше температуры замерзания морской воды.

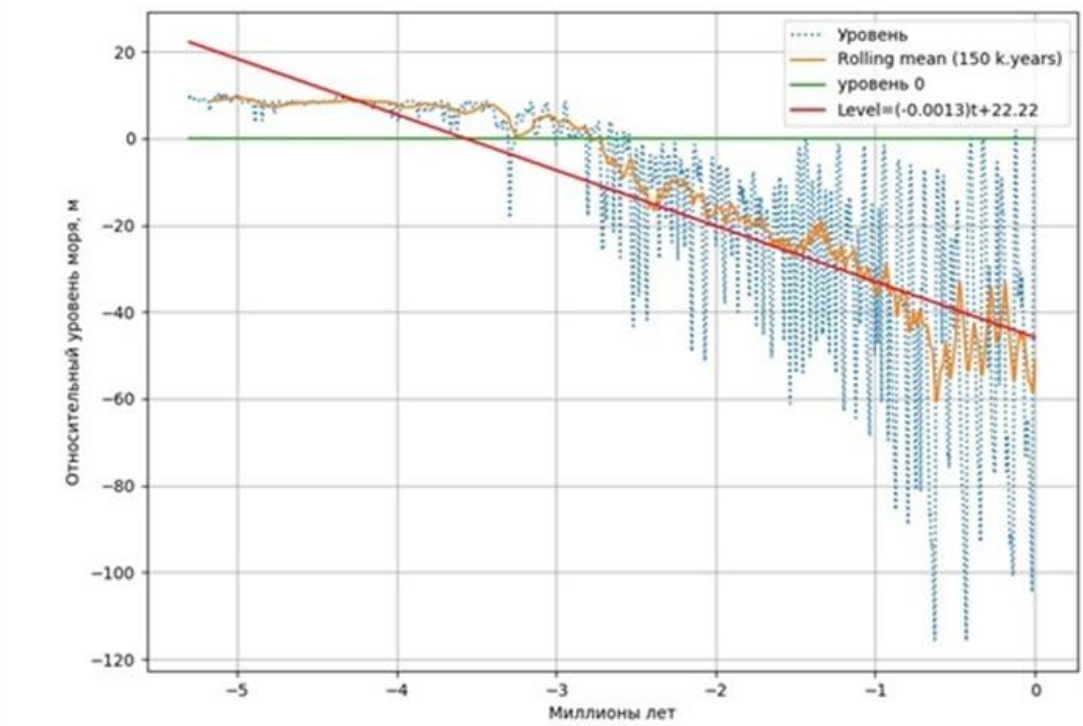


Рис. 1. Кривая эвстатического колебания уровня моря по данным из [de Boer et al, 2014].

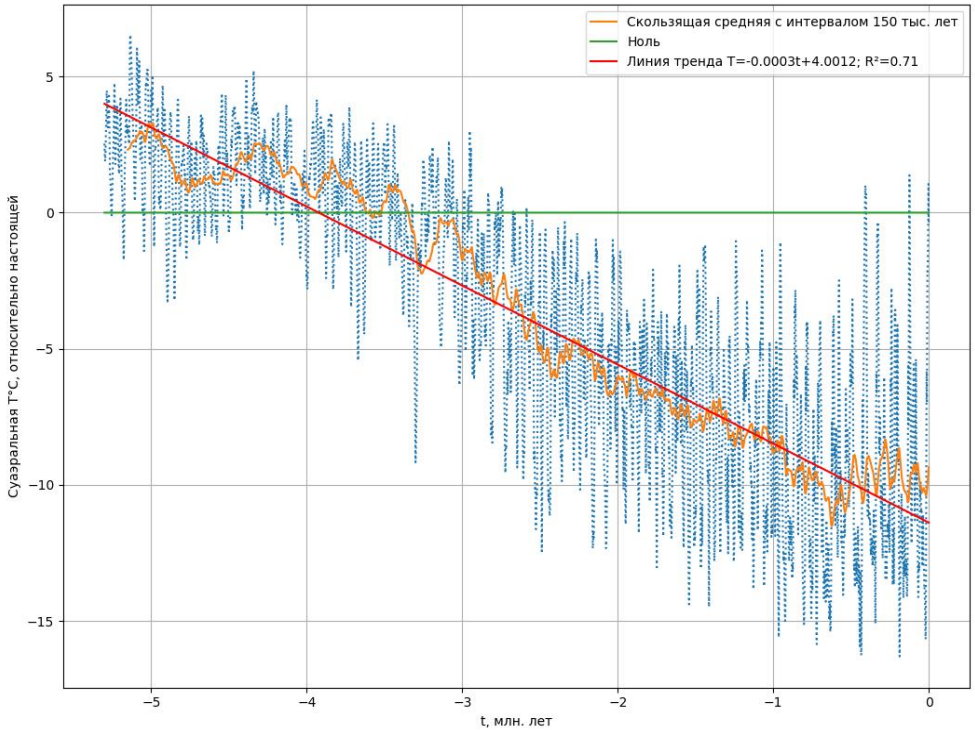


Рис. 2. – Аномальные субаэральные температуры по данным из [de Boer et al, 2014] с проведенной линией тренда и скользящим средним.

В исходном ряду аномальных субаэральных температур в ходе статистической обработки был выделен сильный отрицательный линейный тренд, с коэффициентом детерминации R^2=0.71. Сила тренда составила $-3 \cdot 10^{-4} \frac{℃}{100 \text{ лет}}$. Скользящее осреднение (с окном в 150 тыс. лет, выбранным эмпирическим путем) в дополнение к общему ходу кривой позволяет разделить весь ряд на 3 составные части: 1) условно «положительного» среднего по температуре, недостаточного для формирования ГГ, продолжительностью от -5 до -3 млн. лет; вторая часть – продолжительностью от -3 млн. до -600 тыс. лет с сильным отрицательным трендом и преобладанием по вкладу в изменчивость ряда циклического колебания Миланковича с периодом в 41 тыс. лет; третья – от -600 тыс. лет до наших дней с трендом близким к нулю (слабовыраженным положительным), с доминированием циклов более чем в 150 тыс. лет. В дальнейшей в работе первая часть выборки была отброшена и исследование велось во временном масштабе от -3 млн. лет до наших дней.

Согласно указанной эвстатической кривой были выявлены времена начала и конца регрессии, а также продолжительности промерзания для современных глубин воды 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 м. Для субаквального периода была принята температура -1,5°С. Для субаэрального периода температура скачкообразно менялась на величину Ta+T0.

В качестве нижнего граничного условия принята величина теплового потока 60 мВт/м^2, характерная шельфа моря Лаптевых согласно [Соловьев и др., 1984].

Результаты моделирования

По результатам расчета были построены графики зависимости мощностей и кровли ЗСГГ и РСМ от глубины моря для настоящего момента времени, а также построены карты распределения мощности ЗСГГ на акватории моря Лаптевых. Прогноз по среднеклиматической температуре о. Котельный дает картину развития ЗСГГ несомненно большей мощности и более широкого пространственного распространения, буквально до

изобаты 70 м (в сравнении с 30 м нулевого сценария) т.е. охватывая практически весь шельф моря Лаптевых. Наибольшей мощности (до.700. м при - 12°С, до 150 м и при расчете для 0°С) ЗСГГ достигает в прибрежной зоне, особенно в районе дельты р. Лена и на северо-восточном окончании п-ова Таймыр, на обширном мелководье в районе Новосибирских и Ляховских островов, а также в районе Васильевской и Семеновской банок.

Сравнивая графики эволюции для расчетов относительно 0 и -12°С можно сделать вывод о том, что при -12°С ЗСГГ и РСМ достигают мощность в несколько раз большую, чем при расчете относительно нуля. ЗСГГ появляется чуть более 2 млн. л. н. и существует непрерывно до наших дней и продолжит существовать в течение нескольких десятков тыс. лет. В то время как при субаэральных температурах, расчитанных относительно 0ºС, ЗСГГ с заметной мощностью образуется около 1,5 млн. л. н. и существует только в ледниковые периоды, прерываясь в межледниковье. Оценивая прогноз существования ЗСГГ в будущем по данному сценарию, можно заключить, что ЗСГГ исчезнет в ближайшее время. Периоды потеплений кровли мерзлоты встречаются с близкой периодичностью для обоих расчетов. Однако расчет относительно нуля оказывается более чувствителен к потеплениям – они обладают большей амплитудой и проникают глубже в мерзлоту в момент продолжительных потепление. Сравнивая динамику кровли и подошвы ЗСГГ, можно отметить, меньший размах вариации и амплитуды колебаний кровли нежели подошвы ЗСГГ. В последние 600 тыс. лет кривые кровли и подошвы ЗСГГ визуально сохраняют схожие с предыдущим временным отрезком периоды и амплитуды, не смотря на хронологически совершенный переход к среднему Плейстоцену, подразумевающему увеличение амплитуды и периодов в ряду субаэральных температур.

Заключение

В работе выполнен прогноз масштаба и характера распространения зоны стабильности ГГ ассоциированных с реликтовой субмариной мерзлотой на шельфе моря Лаптевых. Приведены результаты эволюции с увеличением глубины моря и прогнозного картирования РСМ и ЗСГГ, полученные по данным одномерного математического моделирования. По результатам моделирования обширная и с большой мощностью ЗСГГ распространена в районах со значительными отрицательными среднегодовыми температурами (около -12ºС) с прогнозом существования в несколько десятков тыс. лет. В то время как для районов со среднегодовой температурой около 0ºС ЗСГГ в наши дни имеет максимальную мощность до 150 м с прогнозом на ближайшее исчезновение.

Список литературы

1. *Гольмшток А.Я.* К вопросу о роли разломообразования в формировании придонных залежей ГГ // Вопросы геофизики (Ученые записки СПбГУ). 2008б. Вып. 41. С. 80–111.

2. *Соловьев В.А., Гинсбург Г.Д., Михалюк Ю.Н., Телепнев Е.В., Борисов В.В., Иванов В.Л., Станищева О.Н., Яшин Д.С.* Проблемы газовых гидратов в недрах Мирового океана и газогидратоносность Арктических акваторий (отчет по т.791), Приложение: Схема геотермической изученности Северного Ледовитого океана. Фонды ВНИИОкеангеология, СПб, 1984, 323 с.

3. *Sloan E.D.* Gas hydrates: review of physical/chemical properties // Energy & Fuels. 1998. Vol. 12. No 2. P. 191–196.

4. *B. de Boer, Lucas J. Lourens, and Roderik S.W. van de Wa*l. Global 5 Million Year Sea Level, Temperature, and d18Osw Reconstructions – URL: https://www.ncdc.noaa.gov/paleo-search/study/19564 (15.09.2020)

5. MONTHLY Diagnostic from NOAA NCEP-NCAR CDAS-1: Climate Data Assimilation System I; NCEP-NCAR Reanalysis Project – URL: http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP-NCAR/.CDAS/.MONTHLY/.Diagnostic/ (Дата обращения 15.09.2020)

ПРОБЛЕМЫ ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПРИ КАРТИРОВАНИИ ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ОХОТСКОМ МОРЕ.

Бочкарев Алексей Викторович, Матвеева Татьяна Валерьевна, Семенова Анастасия Андреевна
ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург

Одним из основных параметров при расчете мощности зоны стабильности газовых гидратов является значение геотемпературного градиента в верхней части осадочного чехла. Для получения данного параметра необходимы сведения о плотности глубинного теплового потока и теплопроводности осадков, слагающих верхние сотни метров осадочной толщи. В работе использованы материалы глобального и региональных каталогов данных по плотности теплового потока на акватории Охотского моря [Jessop *et al*, 1976, Веселов О.В., Липина Е.Н, 1982], а также результаты ряда специализированных работ направленные на изучение скоплений газовых гидратов, сопровождаемых проведением геотермических измерений [Гинзбург и др, 1991, Matveeva *et al*, 2005].

На сегодняшний день собраны данные о 325 точках измерений теплового потока на акватории Охотского моря. Также в работе привлечены сведения о результатах геотермических работ в скважинах на о. Сахалин, п-ове Камчатка, и северо-западного окружения Охотского моря.

Для взвешенной оценки теплового потока, следует учитывать статистический характер его измерения, так как на каждое отдельно полученное значение придонного теплового потока влияют не только региональные факторы, такие как возраст формирования, мощность и строение земной коры, время последней тектономагматической активизации, скорость осадконакопления, но и множество локальных причин, таких как наличие в районе исследования пликативных и дизъюнктивных структур, ослабленных зон и очагов разгрузки флюидов, неоднородность рельефа, и влияние циклических колебаний температуры придонных вод в зоне действия подводных течений.

Учитывая зависимость конкретных значений теплового потока, полученных в ходе геотермических исследований от множества независимых факторов с одной стороны, и непосредственное влияние полученных значений на расчетную мощность зоны стабильности газовых гидратов (ЗСГГ) с другой, основной проблемой подготовки геотермических данных для расчета мощности является корректный учет и сглаживание статистических отклонений при определении фонового регионального теплового потока.

В условиях ограниченности имеющихся геотермических наблюдений особое значение при подготовке данных о геотермическом градиенте приобретает использование зависимости плотности теплового потока от особенностей структурно-тектонического строения изучаемых участков.

Для обеспечения достаточной представительности данных, все имеющиеся значения теплового потока были сопоставлены с тектонической картой, разработанной в ГИН РАН [Атлас…, 2004] (Рис.1).

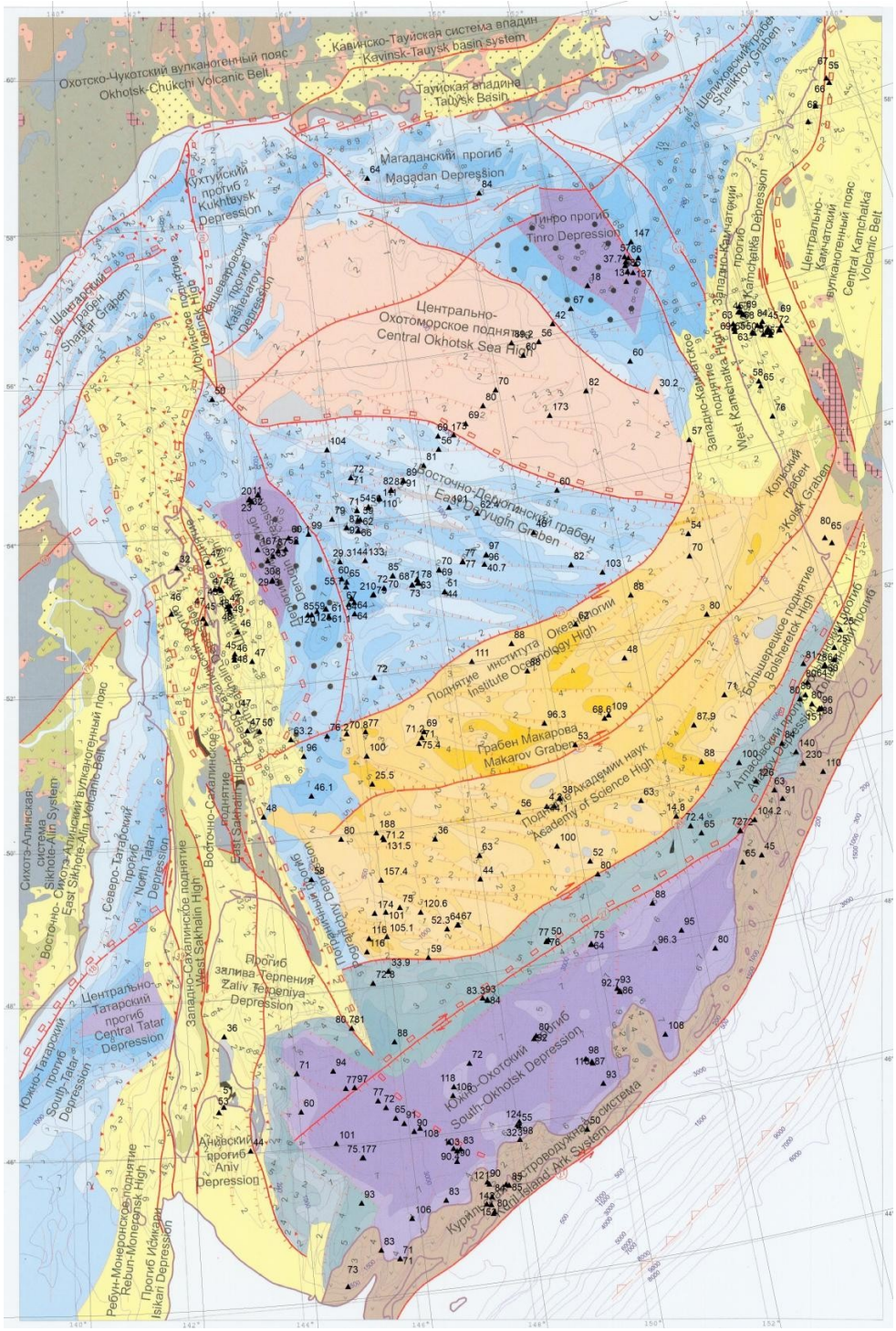


Рис. 1 Тектоническая карта Охотского моря [Атлас…, 2004] с изменениями и нанесенными точками измерения теплового потока на акватории.

На основе указанной тектонической карты нами осуществлено геотермическое районирование акватории с осреднением значений теплового потока в пределах тектонических структур (Рис.2).

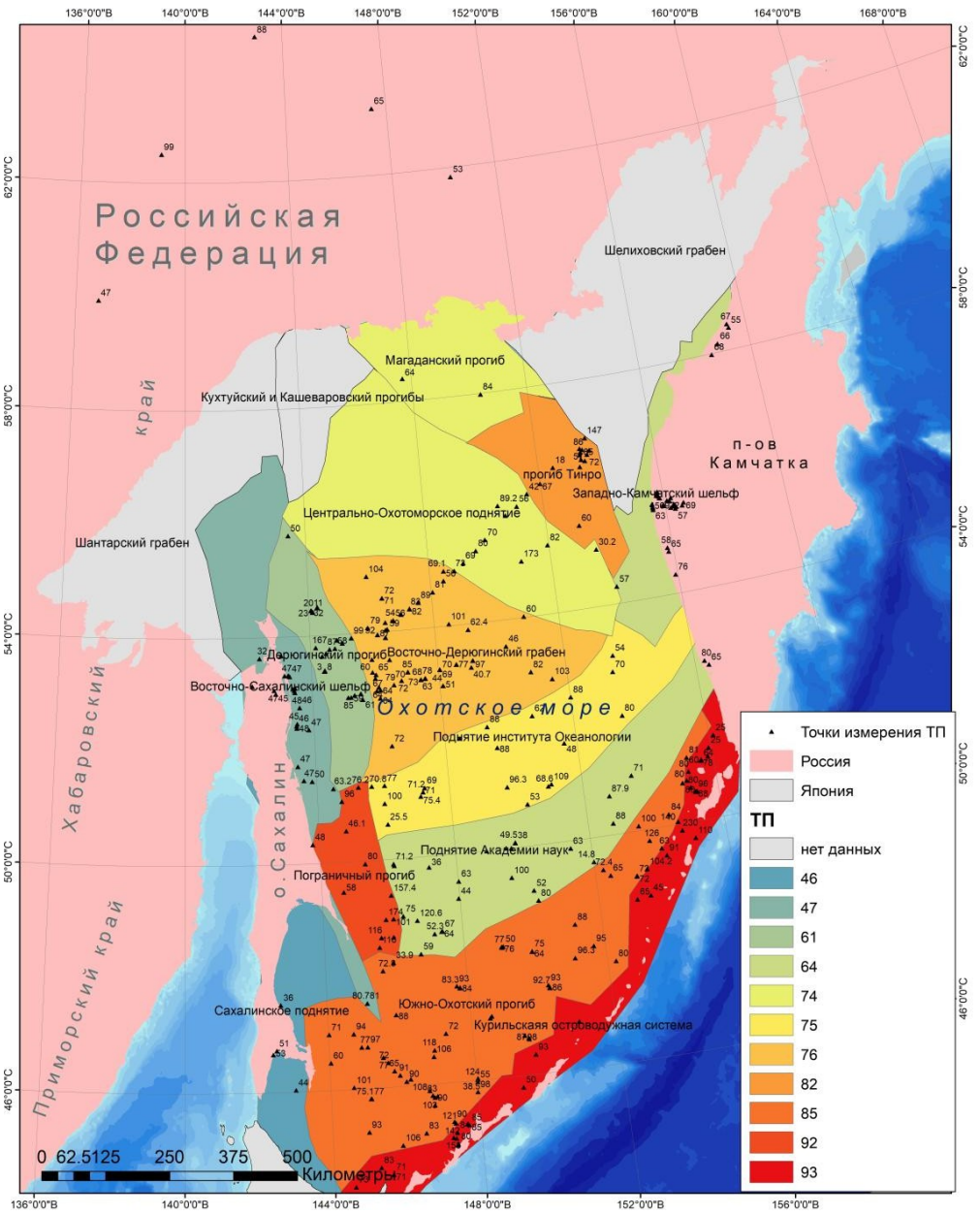


Рис. 2 Схема геотермического районирования Охотского моря

По результатам проведенного геотермического районирования, был построен грид значений геотермического градиента верхней части осадочной толщи акватории размерностью ячейки 0.25 на 0.25 градусов, учитывающий теплопроводность осадков верхней части осадочного чехла и позволяющий рассчитать мощность зоны стабильности газовых гидратов в акватории Охотского моря с осреднением на основе определения фонового теплового потока.

Список литературы:

1. Атлас: геология и полезные ископаемые шельфов России. ГИН РАН, 2004

2. Веселов О.В., Липина Е.Н. Каталог даннных о тепловом потоке востока Азии, Австралии и запада Тихого океана. Институт тектоники и геофизики, Сахалинский комплексный научно-исследовательский институт, Дальневосточный научный центр АН СССР, Владивосток, 1982.

3. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А.. Субмаринные газовые гидраты - СПб.: ВНИИОкеангеология, 1994. - 199 с.

4. Гинзбург Г.Д., Соловьев В.А., Казазаев В.П. О результатах геолого-геофизических исследований, направленных на выявление и изучение фильтрогенных скоплений газовых гидратов в экономической зоне дальневосточных морей СССР, на НИС «Геолог Петр Антропов». Находка. 1991

5. Jessop A.M., Hobart M.A., Sclater J.G. The world heat fow collection 1975. Geothermal Series 5, Energy, Mines and Resources, Earth Physics Branch. Ottawa. Canada. 1976

6. Matveeva T., Soloviev V., Shoji H., Obzhirov A. Hydro-Carbon Hydrate Accumulations in the Okhotsk Sea (CHAOS Project Leg I and Leg II). Report of R/V Akademik M.A.Lavrentyev Cruise 31 and 32, VNIIOkeangeologia, St.Petersburg, 2005, 164 p

ЗАВИСИМОСТЬ ЭВОЛЮЦИИ ГИДРАТОНАСЫЩЕННОСТИ МОРСКИХ ОСАДКОВ ОТ ОСОБЕННОСТЕЙ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА МОРСКОГО ДНА

Суетнова Елена Ивановна
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва

Введение

Газовые гидраты в морских осадках являются льдо- подобными кристаллическими структурами, содержащими молекулы воды и газа. Одна объемная единица гидратов содержит газ, который при разложении гидрата занимает от 180 до 200 объемных единиц при нормальных условиях (Sloan,1998). Газовые гидраты относятся к метастабильным образованиям и существуют в природе в условиях, близких к границе фазовой устойчивости. Благоприятные термобарические условия для скопления газогидратов метана в осадках широко распространены в морском дне начиная с глубин 250-600 м, Но для накопления и стабильности газовых гидратов в морском дне необходимо не только поддержание термобарических условий их стабильности, но и соблюдение условий локального термодинамического равновесия с газом или газонасыщенным флюидом в морских осадках в области локализации гидратного скопления (Zatsepina, Buffett,1997, Davie, Zatsepina, Buffet, 2004). То есть если в осадках концентрация растворённого в поровом флюиде газа будет ниже равновесной то гидраты не будут накапливаться. Поддержание в среде равновесной концентрации газа (в том числе растворенного) является необходимым условием существования гидратов в морских осадках. Морские геофизические исследования показывают, что газовые гидраты формируются в осадочных структурах главным образом в результате фильтрации газонасыщенного флюида и биогенного и термогенного газа в зону термобарических условий (PT) стабильности газовых гидратов (VanderBeek, Rempel,2018).

Таким образом для формирования газовых гидратов в регионах морского дна должны соблюдаться термобарические условия стабильности газовых гидратов и присутствие гидратообразующих газов. Однако при соблюдении этих условий геофизические наблюдения показывают существенно различающиеся уровни гидратонасыщенности в морском дне**.** В данной работе исследуются некоторые аспекты влияния режимов фильтрации газа и газонасыщенного флюида в морском дне на эволюцию поддонных скоплений газовых гидратов, которые могут объяснять различие в гидратонасыщенности осадков.

.

Данные и методы

Режим фильтрации в пассивных окраинных бассейнах зависит от процессов осадконакопления и уплотнения осадков, а режим фильтрации в зонах подводных грязевых вулканов зависит от особенностей процессов грязевого вулканизма. При этом оба этих режима зависят от свойств осадков. Математическое моделирование с учетом этих зависимостей позволяет оценить характерные времена и скорости аккумуляции газовых гидратов в этих различных геофизических условиях, реализующихся в морском дне.

На рис.1 приведена схема положения зоны устойчивости газовых гидратов в осадках. Обозначения V и V_f показывают скорость седиментации и скорость фильтрации к поверхности порового флюида вследствие уплотнения. В процессе осадконакопления происходит постоянное перемещение осадков относительно положения зоны PT стабильности гидратов.

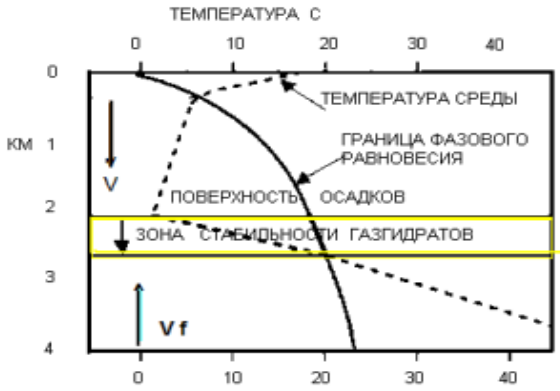


Рис 1. Схема положения зоны стабильности газовых гидратов в морских осадках.

Процесс аккумуляции газовых гидратов из фильтрующегося в осадках насыщенного флюида описывается системой дифференциальных уравнений (1-6) (Суетнова,2007, Суетнова, 2011)

$$\frac{\partial \rho_f m}{\partial t} + \frac{\partial m \cdot V_f \cdot \rho_f}{\partial y} = 0 \qquad (1);$$

$$V_f - V_s = -\frac{k}{\mu m(1-h)}\left(\frac{\partial p_f}{\partial y} + \rho_f g\right) \qquad (2);$$

$$\frac{\partial \rho_f m \cdot (1-h)c}{\partial t} + \frac{\partial \rho_f V_f m(1-h)c}{\partial y} = -\rho_h (c_h - c)m(1-h)\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (3);$$

$$\frac{dm}{(1-m)dt} = -\frac{m}{\eta} p_e - m\beta \frac{dp_e}{dt} \qquad (4);$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} + A_1 \frac{\partial m \cdot (1-h)V_f f}{\partial y} + A_2 \frac{\partial (1-m)V_s f}{\partial y} = \kappa \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \qquad (5);$$

$$A_1 = \frac{\rho_f \cdot C_f}{\rho C}; \quad A_2 = \frac{\rho_s \cdot C_s}{\rho C}.$$

Обозначения: y – пространственная координата, m –пористость, $k=k_0(m(1-h))^3$ – проницаемость осадков, μ - вязкость флюида, g - ускорение силы тяжести, p_f – давление флюида, p_e – эффективное давление, h – гидратонасыщенность; t – время; v – скорость;; c_h – концентрация газа в гидрате; c – концентрация газа; C – теплоемкость, f – температура, η - эффективная вязкость среды осадков, β эффективная сжимаемость среды. Принимается условие локального термодинамического равновесия гидрат–флюид в области стабильности газовых гидратов. Для расчета концентрации газа во флюиде в гидратной зоне $c_{eq}(T)$=

$c_{eq}(T3(P))\exp((T - T3(P))/\square\ \tau)$, где τ =10ºC, ; $T3(P)$, положение фазовой границы равновесия в плоскости температуры и давления рассчитываются из уравнений термодинамики .Также должно быть задано давление на поверхности бассейна, отражающее его глубину. Для газового гидрата ставится естественное условие равенства нулю его содержания в порах вне границ стабильности. Для решения этой задачи с использованием типичных значений входящих параметров использовались методы решения нелинейной системы дифференциальных уравнений в частных производных, разработанные ранее для решения задач вязкоупругого уплотнения накапливающихся осадков с растущей границей (Suetnova, Vasseur,2000). Необходимая для решения процедура приведения системы к безразмерному виду выявляет характерные масштабы определяемых неизвестных Масштабом времени является $T = \frac{\sqrt{\eta\mu}}{m_b^2 \Delta\rho g \sqrt{k_0}}$.

В зонах глубоководных низкотемпературных грязевых вулканов газовые гидраты накапливаются в окрестности жерла вулкана за счет фильтрации газонасыщенных флюидов к поверхности дна над питающим вулкан грязевым резервуаром, находящимся при аномально высоком давлении (Суетнова,2016). Для решения задачи аккумуляции газовых гидратов в зонах глубоководного грязевого вулканизма в системе уравнений (1-5) изменяется уравнение (4) на уравнение упругой поросжимаемости $\partial m/\partial t = m_0(1/K)\partial p_f/\partial t$ так как по геофизическим наблюдениям структура среды осадков может меняться в результате связанных с извержениями деформаций, что делает маловероятным медленные вязкие процессы изменения пористости между извержениями . В этой задаче процедура анализа размерностей и определения характерных масштабов переменных приводит к определению характерного масштаба времени задачи $T=D^2/\chi$ где $\chi = kK/m_0\mu$., D -глубина до кровли питающего резервуара.

Результаты.

Расчеты по модели накопления газовых гидратов в окраинных бассейнах при накоплении и уплотнении осадков с использованием репрезентативных значений входящих параметров морских осадков показывают что 2% порового пространства заполняются газовыми гидратами за время порядка 2 млн лет .

Результаты численного моделирования показывают, что фильтрация газонасыщенного флюида над резервуаром питания глубоководного грязевого вулкана может обеспечить быстрое накопление значительной гидратонасыщенности в зоне грязевого вулканизма в окрестностях жерла вулкана (например 13% за 10 лет) (Суетнова,2016) между извержениями вулкана , что отмечается в геофизических наблюдениях.

Заключение

Математическое моделирование взаимосвязанных процессов эволюции гидратонасыщенности и скорости фильтрации показало, что скорость фильтрации и давление насыщающего флюида играют очень важную роль в процессе эволюции гидратонасыщенности морских осадков. Показано, что процессы накопления и уплотнения субаквальных осадков а также процессы в зонах питания грязевых вулканов в глубине осадков могут определять скорость фильтрации газонасыщенного флюида в зону стабильности газовых гидратов, которая приводит к накоплению значимых объёмов газового гидрата в морском дне и может объяснять наблюдаемую неоднородность гидратонасыщенности морского дна связанную не только с региональными и локальными

различиями термического режима дна акватории но и с различиями в скоростях и длительности процессов фильтрации газонасыщенного порового флюида и механизмами формирования порового давления.

Список литературы

Суетнова Е.И. Аккумуляция газовых гидратов в окрестности подводных грязевых вулканов // Геофизические исследования. – 2016. – Т.17. – №4. – С.39-48.

Суетнова Е. И. Аккумуляция газовых гидратов в морском дне при последовательном накоплении осадков с различными транспортными свойствами //Доклады Академии Наук. – 2011 .– Т.438, № 6. – С. 813–816.

Суетнова Е.И. Накопление газгидратов и уплотнение накапливающихся осадков: проблема взаимовлияния процессов // Доклады РАН. – 2007. – Т.415, № 6. – С. 818–822.

Sloan, E. D., Jr. Clathrate Hydrates of Natural Gases, 2nd ed., rev. and expanded, 754 pp. CRC Press, Boca Raton, Fla. – 1998.

Davie M.K., Zatsepina O.Ye., Buffet B.A. Methane solubility in marine hydrate environments // Marine Geology. – 2004. – V. 203. – P. 177–184.

Suetnova E.I., Vasseur G. 1-D modelling rock compaction in sedimentary basin using visco-elastic rheology // Earth Planet. Sci. Letters. –2000. –178. – P. 373-383.

Zatsepina O.Ye. and Buffett B.A. Phase equilibrium of gas hydrate: implication for the formation of hydrate in the deep sea floor. // Geophys. Res. Lett. – 1997. – V. 24. NO. 13. – P. 1567-1570.

VanderBeek, B. P., Rempel, A. W. On the importance of advective versus diffusive transportin controlling the distribution of methane hydrate in heterogeneous marine sediments // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2018. –- 123. – doi.org/10.1029/2017JB015298

СОВРЕМЕННАЯ И ПАЛЕО-ФЛЮИДОРАЗГРУЗКА В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ: ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19

Соловьева Марина Андреевна[1,2], Видищева Олеся Николаевна[1], Ахманов Григорий Георгиевич[1], Монтелли Александр Игоревич[3],

[1] Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

[2] ООО «Деко-геофизика», г. Москва

[3] Scott Polar Research Institute, University of Cambridge, Cambridge CB2 1ER, UK

В период с 17 июля по 17 августа 2020 года состоялась комплексная многопрофильная научная экспедиция TTR-19 по программе «Обучение-через-исследование» Плавучий Университет («Training-through-Research» Floating University). Район работ располагался в северо-восточной части шельфа Баренцева моря – одном из наименее изученных секторов западной российской Арктики, но, тем не менее, представляющих повышенный интерес для представителей нефтяной и газовой индустрии, являясь одним из крупнейших потенциальных нефтегазоносных бассейнов России. Особенностью данного региона, снижающей эффективность применения стандартных методов поиска и разведки углеводородных флюидов, является влияние ледниковой динамики на строение, состав и характеристики верхней части осадочного разреза. Наличие комплекса ледникового происхождения, часто представленного плотными и слабопроницаемыми глинами, вносит существенный вклад в перераспределение потоков флюидов, препятствуя их выходу на поверхность морского дна и образованию «классических» газовых аномалий. В связи с этим, поиск новых месторождений углеводородов в пределах Баренцева моря требует серьёзной научной поддержки и дополнительных исследований. С этой целью в рейсе TTR-19 была поставлена задача изучения влияния литологического состава и свойств арктических донных накоплений на формирование фоновых и аномальных концентраций флюидов и органического вещества в приповерхностных осадках.

Для решения поставленной задачи в рамках экспедиции был выполнен широкий комплекс геофизических, геологических, геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических и микробиологических исследований. Опробование донных грунтов предваряли дистанционные методы исследования, включавшие многолучевое эхолотирование, акустическое профилирование с профилографом и сейсморазведку по методике сверхвысокого разрешения. На основании анализа полученных данных выбирались наиболее интересные и перспективные места для выполнения донного пробоотбора ударными трубками. Отобранный керн был подвергнут литологическому описанию, профильным исследованиям на геотехнические свойства, замерам pH, Eh и ультразвуковым исследованиям. Также, были отобраны образцы на анализ органического вещества, состава порового газа, минерализации поровых вод, вещественного состава донных осадков и микробиальной активности.

Результаты выполненных исследований позволяют судить о практически повсеместном распространении в пределах изучаемого района маломощных четвертичных накоплений, перекрывающих коренные отложения мелового возраста. Выходы коренных пород на поверхность дна фиксируются по геофизическим данным лишь на очень локальных участках. Четвертичный комплекс представлен в нижней части позднеплейстоценовыми

моренными накоплениями – очень плотными и слабопроницаемые диамиктонами, которые сменяются более рыхлыми отложениями дегляциала. Верхняя часть комплекса представлена слабоконсолидированными голоценовыми глинами морского пелагического и флювиального происхождения. По всей видимости, именно нижний, моренный, комплекс является основным флюидоупором, препятствующим выходу флюидов на поверхность дна.

О наличии современного потока флюидов свидетельствуют высокоамплитудные аномалии, обнаруженные на сейсмоакустических разрезах и приуроченные в основном к границе между коренными породами и перекрывающим их моренным комплексом. На одном из участков, где согласно геофизическим данным современные морские осадки залегают непосредственно на коренных породах, результаты донного пробоотбора и анализа порового газа показали существенно повышенные концентрации метана. Также, были обнаружены гомологи до пентана, что свидетельствует о современной миграции газов из глубинных интервалов осадочного разреза. Тем не менее, данный факт не означает наличие газовой аномалии в этой зоне, а лишний раз свидетельствует о важности изучения фациального распределения четвертичных отложений с целью минимизации ошибочной интерпретации.

О наличии современной флюидоразгрузки также свидетельствуют «факелы» в водной толще, зафиксированные судовым эхолотом и профилографом. Они были зафиксированы на двух полигонах, один из которых характеризуется малой мощностью четвертичных садков и, как следствие, близким выходом коренных пород к поверхности дна. Вероятно, на данном участке флюиды мигрируют по комплексу коренных отложений в приповерхностную часть разреза, а затем просачиваются через маломощный комплекс моренных осадков или сквозь
«окна» – области отсутствия ледниковых накоплений. На втором полигоне «факелы» приурочены к крупным воронкообразным структурам в рельефе дна, предположительно являющихся покмарками. Результаты донного пробоотбора показали наличие текстур дегазации в осадке, а геохимические исследования определили повышенные концентрации метана относительно фоновых, а также наличие этана и пропана, что свидетельствует о современной флюидоразгрузке глубинного газа.

Также, покмарки меньшего размера были обнаружены и в других частях исследуемого района. Они концентрируются на небольших участках, образуя скопления. Однако признаков современной дегазации не обнаружено. Тем не менее, наличие таких структур в рыхлых неконсолидированных осадках свидетельствует о недавней активности покмарок.

Об интенсивной палео-флюидоразгрузке косвенно свидетельствует обнаружение таких форм ледникового рельефа, как структуры «hill-hole pairs» и «blow-out craters» (взрывные кратеры), которые ранее не наблюдались в восточной части Баренцева моря. Согласно существующим представлениям (Winsborrow, 2016; Andreassen, 2017), их образование связано с субгляциальной палео-гидратоносностью. Структуры типа «hill-hole pairs» представляют собой глубокие борозды и приуроченные к их окончанию возвышенности в рельефе дна, образовавшиеся при движении ледника по неоднородному субстрату с разной степенью пластичности. Во время оледенения приповерхностные осадки в данном районе могли находиться в зоне стабильности газовых гидратов, в результате чего при наличии интенсивного подтока флюидов могло происходить формирование газовых гидратов, сопровождающееся дегидратацией окружающих осадков и снижению их пластичности.

Согласно модели (Winsborrow, 2016), при движении ледника по таким осадкам происходил их отрыв и перенос с образованием структур «hill-hole pairs». Обнаружение таких структур на огромной территории свидетельствует о широком распространении полей приповерхностных палео-гидратов в данном районе и интенсивной и масштабной палео-флюидоразгрузке.

Структуры «blow-out craters» представляют собой крупные кратерообразные углубления округлой формы, оконтуренные валообразным поднятием и прорывающие не только современные морские осадки, но и достигающие коренных пород. Модель формирования данных структур, представленная в (Andreassen, 2017), также предполагает наличие больших скоплений приповерхностных газовых гидратов, которые при быстром отступании ледника довольно резко диссоциировали и приводили к взрыву, образуя крупные воронки в рельефе дна. Согласно данным, полученным в рейсе TTR-19, такие структуры расположены группами, образуя обширные поля, наблюдаемые на большой площади в северной части вала Страхова. Таким образом, анализируя широкое распространение взрывных кратеров, можно предполагать потенциальную палео-гидратоносность данного района. Вероятно, флюидоразгрузка не прекратилась после отступания ледника, и в настоящий момент также существует поток флюидов, который мигрирует из глубоких интервалов осадочного разреза к приповерхностным осадкам, концентрируясь у подошвы слабопроницаемого комплекса ледниковых накоплений. Следовательно, наличие ледниковых форм рельефа, свидетельствующих о палео-флюидоразгрузке, может являться косвенным поисковым признаком современного потока флюидов.

Таким образом, изучение острого вопроса современной флюидоразгрузки в северо-восточной части Баренцева моря комплексными геолого-геофизическими и геохимическими методами в экспедиции TTR-19 привело к пониманию влияния литофациальной характеристики четвертичных осадков на фиксируемые концентрации углеводородных газов в придонных осадках. Практически повсеместно распространённые комплексы ледниковых накоплений являются флюидоупором, препятствующим просачивание газа в придонные осадки и их обнаружению стандартными методами. Тем не менее, изучение дистанционными методами ледниковых форм рельефа и строения верхней части осадочного чехла позволяет судить как о современной высокой газонасыщенности коренных пород, так и об интенсивном палео-флюидопотоке. Обнаружение обширного поля структур, свидетельствующих о палео-гидратоносности, косвенно указывает на наличие скопления или, возможно, месторождения углеводородов в глубинном интервале осадочного разреза во время последнего гляциала и может существовать и в настоящее время.

Список литературы.

Andreassen K., Hubbard A., Winsborrow M., Patton H., Vadakkepuliyambatta S., Plaza-Faverola A., Gudlaugsson E., Serov P., Deryabin A., Mattingsdal R., Mienert J. and Bünz S., 2017. Massive blow-out craters formed by hydrate-controlled methane expulsion from the Arctic seafloor. Science, 356(6341), pp. 948–953.

Winsborrow M., Andreassen K., Hubbard A., Plaza-Faverola A., Gudlaugsson E. and Patton H., 2016. Regulation of ice stream flow through subglacial formation of gas hydrates. Nature Geoscience, pp. 1–6.

СОСТАВ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГАЗОВ ИЗ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19)

Егошина Евгения Денисовна, Видищева Олеся Николаевна, Полудеткина Елена Николаевна, Валиева Эльвина Ильнуровна, Соловьева Марина Андреевна, Ахманов Григорий Георгиевич.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Введение.

Осадочный комплекс Баренцева моря характеризуется доказанной нефтегазоносностью. На данный момент его изучение является одной из приоритетных задач Российской Федерации в целях наращивания углеводородного потенциала. (Яновский, 2010). Газогеохимические исследования служат одним из методов поиска залежей в комплексе геолого-геофизических работ. Но изучение особенностей как фоновой, так и фокусированной разгрузки флюидов в арктических широтах осложнено рядом факторов. К ним относятся как труднодоступность региона и сложные климатические условия, так и специфические характеристики осадочного чехла.

Регион исследования характеризуется четвертичным нивальным типом седиментогенеза. Суб-гляциальные накопления, морены, распространенные в районе в верхних частях осадочного разреза, часто служат литогеохимическим барьером, препятствующим миграции вещества из более глубоких горизонтов к поверхности.

Основная задача работы - это изучение геолого-газогеохимических особенностей акватории северо-восточной части Баренцева моря (Рис. 1).

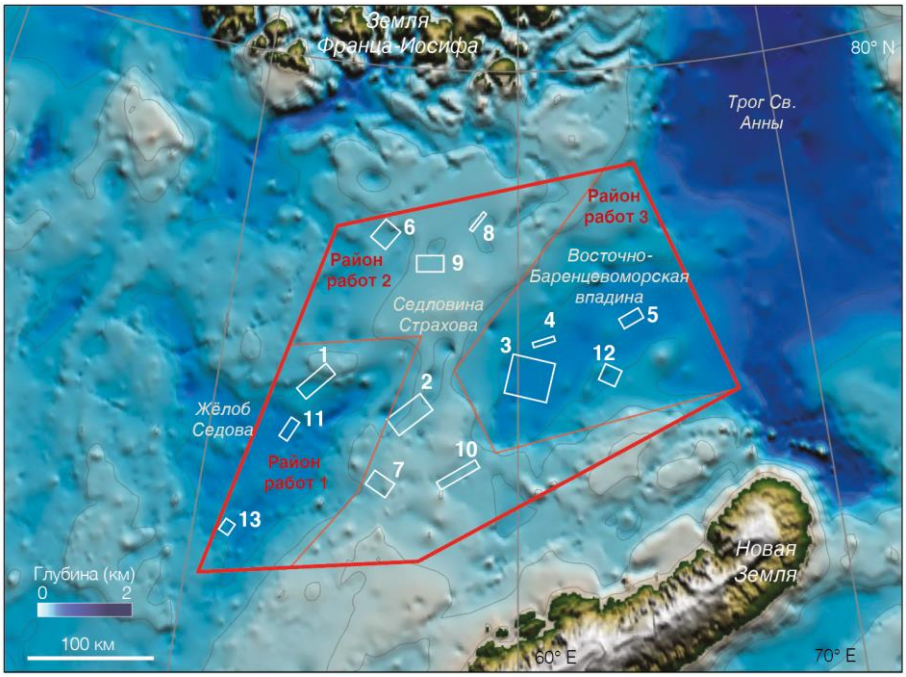


Рис 1. Общие границы района работ исследований рейса TTR-19 и полигонов детальной геолого-геофизической съёмки.

Материалы и методы.

Работа основана на материалах, полученных в ходе экспедиции программы *«Training-through-Research» (*«Обучение-через-исследования») - TTR-19 - на НИС «Академик Николай Страхов». На основе сейсмоакустического профилирования и данных многолучевого эхолота были выбраны точки пробоотбора. Опробование арктических донных илов проводилось с помощью прямоточной ударной трубы. Из каждого полученного керна отбирался осадок для дальнейшего извлечения из него газовой фазы методом «Head-space» с продувкой гелием. Исследования молекулярного состава газа и определение концентрации неуглеводородных компонентов выполнялись на портативном газовом хроматографе «Хроматэк-газохром 2000» непосредственно на судне. Определение концентрации углеводородных (УВ) газов происходило в стенах МГУ имени М.В. Ломоносова на газовом хроматографе Trace GC Ultra. Всего отобрано 627 проб газовой фазы из донных илов в пределах района работ (как в пределах аномальных структур, так и в «фоновых» станциях).

Результаты и выводы.

На основании анализа литературных данных и в результате собственных исследований в лабораториях установлено, что донные осадки северной части шельфа моря Баренцева характеризуется низкими концентрациями метана (2-6) ppm. Максимальное количество метана в образцах не превышает 60 ppm, гомологи метана (C_2-C_5) присутствуют в следовых количествах. В полевых условиях в ходе экспедиции TTR-19 не удалось установить наличие газогеохимических аномалий, связанных с фокусированными выходами газа. Большинство исследованных проб показали фоновое, не превышающее воздушное, содержание метана.

В связи с низкими концентрациями УВ в донных илах особое внимание было уделено дополнительным индикаторам углеводородной разгрузки, в том числе повышенным концентрациям неуглеводородных газов, проявлениям биологической активности и особенностям литологии опробованных донных илов.

В верхней части разреза (до трёх метров от поверхности дна) на основании анализа концентраций углекислого газа и азота в донных илах можно выделить характерные интервалы (Рис. 2). (1) Верхний интервал (первые 20-40 см) - зона активных биохимических реакций – с повышенными концентрациями азота и CO_2; (2) Средний интервал - зона затухания биохимических реакций, отражающаяся в снижении количества азота и CO_2; (3) Нижний интервал (представлен в отдельных колонках) - зона «подтока глубокого газа», где снова отмечаются повышенные содержания азота и CO_2, обусловленные, по-видимому, миграцией газа из недр. Планируется анализ изотопного состава углерода УВ газов и CO_2 для проверки выдвинутой гипотезы.

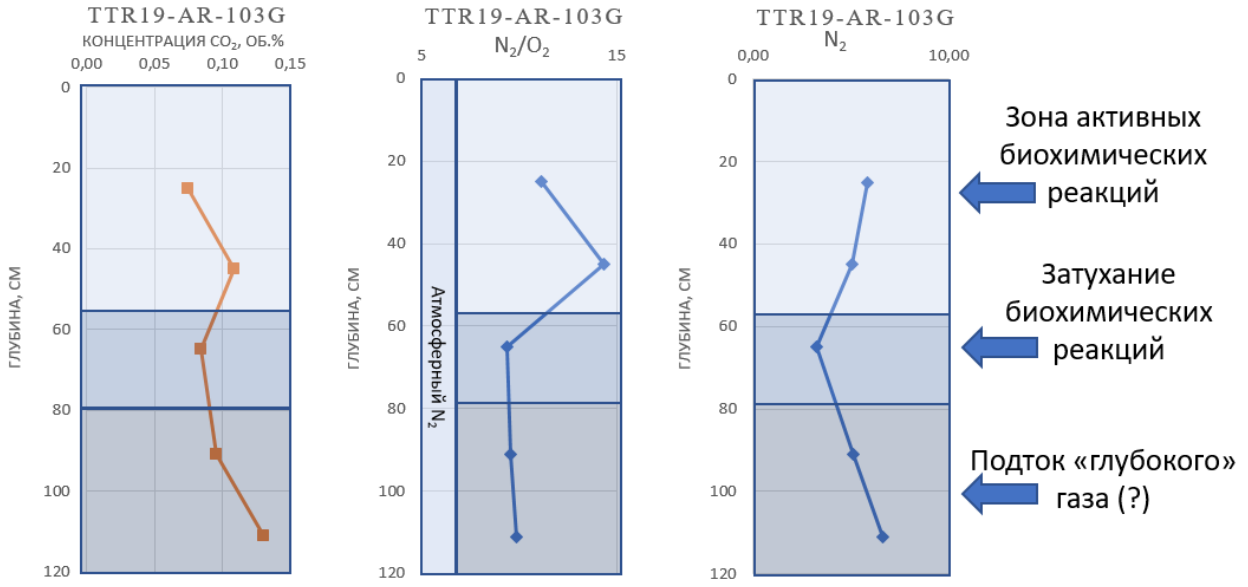


Рис 2. Пример распределения неУВ газов в донных отложениях. Выделение зон с различными концентрациями азота, кислорода и углекислого газа

Признаком разгрузки газов в районе исследования может являться большое количество организмов *Pogonophora*. Существование симбиотрофных погонофор невозможно без подтока метана и его окисления до CO_2 (Lösekann, 2008). На большинстве полигонов *Pogonophora* в осадках присутствуют. Но их максимальные концентрации отмечаются на полигонах детальных исследований, получивших в рейсе рабочие названия «Байкал» и «ПОП-марки», которые также характеризуются распространением донных воронок, вероятно, связанных с разгрузкой газа. Кроме того, пробы, отобранные в пределах полигона «ПОП-марки» показали повышенное количество метана (до 57 ppm) в осадках. Выделялись гомологи метана, вплоть до пентана (концентрации этана - до 5 ppm, других гомологов - до 2 ppm). В пределах полигона «Байкал» были зафиксированы акустические аномалии на судовом эхолоте, скорее всего, связанные с фокусированной разгрузкой флюидов. Здесь же были обнаружены повышенные концентрации метана (до 12 ppm) в донных илах, присутствовали этан и пропан.

Сейсмоакустическое профилирование на полигоне, названном «Карман», выявило ряд акустических аномалий типа «яркое пятно» в четвертичных отложениях и в разрезе коренных пород. Опробование над аномалиями, в станциях TTR19-AR107G, TTR19-AR108G и TTR19-AR111G, показало повышенное содержание неУВ газов, метана и наличие этана (до 0,3 ppm). Максимальные концентрации газов в придонных илах отмечены на участке, непосредственно расположенном над разломом, фиксирующемся на сейсмопрофиле.

В ходе экспедиции и по данным первых лабораторных исследований удалось предварительно определить картину распространения участков с повышенными концентрациями газов в придонных илах в пределах полигона исследований экспедиции TTR-19, дать первую сравнительную качественную и количественную характеристику газов четвертичных отложений. Установлено, что комплекс ледниковых, ледниково-морских и морских осадков препятствует миграции флюидов из осадочного разреза в водную толщу. Определено, что районы, где моренные накопления не представлены, а также участки над разломными зонами характеризуются повышенными концентрациями

УВ-газов в придонных илах. Проявления работы углеводородных систем в северо-восточной части шельфа Баренцева моря целесообразно изучать на полигонах «Байкал», «ПОП-марки» и «Карман».

Благодарность.

Авторы выражают глубокую признательность организаторам экспедиции TTR-19, а также Министерству Науки и Высшего Образования Российской Федерации за поддержку программы «Обучение-через-исследования»

Список литературы:

1. Яновский А.Б. и др., Энергетика России. Взгляд в будущее. основывающие материалы к Энергетической стратегии России на период до 2030 г. М.: Энергия, 2010.
2. Lösekann, T., Robador, A., Niemann, H., Knittel, K., Boetius, A., Dubilier, N. Endosymbioses between bacteria and deep-sea siboglinid tubeworms from an Arctic Cold Seep (Haakon Mosby Mud Volcano, Barents Sea) (2008) Environmental Microbiology, 10 (12), pp. 3237-3254.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ФЛЮИДОРАЗГРУЗКИ В СЕВЕРО_ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19

Видищева Олеся Николаевна, Егошина Евгения Денисовна, Валиева Эльвина Эльнуровна, Чевелев Василий Константинович, Полудеткина Елена Николаевна, Ахманов Григорий Георгиевич

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Баренцевоморский регион – один из крупных потенциально нефтегазоносных бассейнов России с доказанной продуктивностью. На сегодняшний день здесь идет активный поиск новых месторождений нефти и газа. В качестве «прямых» методов поиска месторождений используются геохимические методы. Они основаны на представлениях о непрерывных процессах миграции углеводородных (УВ) флюидов из залежи к поверхности Земли. В результате такого переноса формируются поля аномальных концентраций УВ в поверхностных отложениях. Для шельфа Арктики возникают проблемы в обнаружении аномальных геохимических полей, так как плотные поверхностные арктические глины препятствуют миграции УВ флюидов к поверхности, выполняя роль покрышки. В связи с этим, классический подход в проведении геохимических исследований донных осадков шельфовой зоны Баренцева моря требует переосмысления.

Одним из направлений экспедиции TTR-19, которая проходила в июле-августе 2020 года в северо-восточной части Баренцева моря на НИС «Академик Николай Страхов» при поддержке Министерства образования Российской федерации, были геохимические исследования донных осадков. Целью работ геохимического отряда были геохимические исследования донных осадков как инструмент «прямых» методов поиска скоплений углеводородов, определение влияния литологического состава и свойств арктических донных накоплений на формирование фоновых и аномальных концентраций флюидов и органического вещества в приповерхностных осадках. Для реализации этой цели были поставлены следующие задачи: оценка распределения флюидов в различных литофациальных обстановках в зависимости от геологического режима, изучение объектов с отсутствием флюидоупорного горизонта моренного комплекса, проведение комплекса методических работ для выделения оптимальных методов газогеохимических исследований в районах с низкими концентрациями газов в донных осадках, отбор и изучение литолого-геохимических характеристик «коренных» отложений.

Анализ литературных данных геохимических исследований по северной части моря Баренцева дал представление о диапазонах изменения концентраций УВ, неУВ газов и Сорг в донных осадках. Северная часть Баренцевоморского шельфа характеризуется низкими концентрациями газов в донных осадках (табл.1). Фоновые концентрации метана в осадах Баренцева моря составляют 10-3 – 10-4 об.%.

В ходе экспедиции TTR19 били проведены исследования газовой фазы и органического вещества донных осадков. Газовая фаза извлекалась из осадка согласно методике «Headspace» с продувкой свободного пространства гелием, затем изучалась на борту судна с помощью портативного газового хроматографа «Хроматэк-Газохром-2000» с двумя детекторами по теплопроводности, позволяющих анализировать УВ газы C1-C5 и неУВ газы: CO2, O2, N2. Так как осадки в данном регионе характеризуются очень низкими содержаниями УВ газов, то на борту судна были проанализированы только неУВ газы, т.к.

разрешающая способность детектора не позволяла определять столь низкие значения концентраций УВ. Осадки для изучения органического вещества отбирались из интервалов отбора газов, высушивались на борту судна при комнатной температуре, затем упаковывались и анализировались в лабораториях МГУ имени М.В. Ломоносова. Помимо прямых методов изучения насыщенности осадков УВ флюидами, использовались косвенные методы, такие как: присутствие метанредуцирующих организмов Poghonophora, текстуры дегазации осадков, присутствие минерала икаита, аномалии на сейсмоакустических записях, наличие покмарок на морском дне. Всего было отобрано 627 проб газов и 550 проб осадков.

Таблица 1. Концентрации УВ и неУВ газов, содержание Сорг в донных осадках (результаты отчета экспедиции НИИГА НПО «Севморгео» 1970-1974 гг.)

	Минимальные концентрации, об.%	Максимальные концентрации, об.%	Средние значения концентрации, об.%
Метан	0,0004	1,7	0,16
Этан+пропан	0,00003	0,6	0,037
Углекислый газ	0,0	2,7	1,12
Сорг	0,34 (пески)	0,70 (глинистые илы)	0,42

Прежде всего, для того, чтобы максимально повысить чувствительность прибора относительно метана и избавиться от присутствия неУВ газов из атмосферы, использовалась методика продувки свободного пространства «headspace» образцов гелием. Были проведены эксперименты по исключению попадания растворенных в воде газов в образец (кипячение воды, использование пересыщенного солевого раствора).

Так же были предприняты попытки сконцентрировать газ увеличив пробу осадков и уменьшив при этом зону «headspace» в которую переходит газ из осадка.

Концентрация углекислого газа рассматривалась в зависимости от различных литологических типов осадков. В районе работ были выделены 2 основных типа отложений: современные/древние морские отложения и отложения флювиального и ледниково-морского комплекса. Положительные аномалии CO2 были зафиксированы в ледниково-морском комплексе, что может быть связано с большей сорбционной способностью данных отложений.

В пределах района работ были выделены аномальные поля концентрации CO2 в местах близкого подхода коренных пород к поверхности дна и низкими мощностями или полным отсутствием экранирующего ледниково-морского комплекса. В данных станциях был проанализирован УВ состав газа на газовом хроматографе Trace GC Ultra с пламенно-ионизоционным детектором в лаборатории МГУ имени М.В. Ломоносова. В результате чего в составе газовых проб было обнаружено наличие гомологов метана до C5H10, что свидетельствует о миграции УВ газов по пластам данных пород.

Геохимическое изучение донных осадков северо-восточной части Баренцева моря показало, что в них присутствуют УВ флюиды, мигрировавшие из глубин осадочного выполнения. Осадочное наполнение в районе работ представлено комплексом отложений от позднего девона до верхнего мела. В качестве эпигенетической составляющей в донных осадках могут быть продукты крекинга, мигрировавшие из генерирующих толщ верхнего

мезозоя и триасового комплекса. Потенциально, промышленно продуктивными могут быть юрско-меловые породы в зонах увеличенных мощностей. Тип ОВ нефтегазоматеринских толщ преимущественно II-III, следовательно, в качестве флюида может быть нефть и газ. Главная задача дальнейших исследований - определение происхождение отобранных во время экспедиции УВ флюидов, их исходное органическое вещество, его степень преобразованности. Для этого будет изучено органическое вещество методом пиролиза, проведен молекулярный и хроматомасс-спектрометрический анализ битумоида осадка, сделаны изотопные анализы углерода УВ газов и CO2.

Углеводородные газы и газовые гидраты в морских отложениях

Стендовые доклады

ПРИЗНАКИ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ГИДРАТОНОСНОСТИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19).

Сигачева Любовь Юрьевна[1], Кудаев Артур Алиевич[1], Монтелли Александр Игоревич[1], Ахманов Григорий Георгиевич[1], Хлыстов Олег Михайлович[2], Щепелев Федор Сергеевич[1], Томасенко Сергей Васильевич[1]

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

[2] Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

В настоящее время одним из наиболее перспективных регионов для поисков углеводородов (УВ) в Арктике является Баренцево-Карский шельф. Несмотря на интерес к региону, его изученность крайне неравномерна. На акватории Южно-Баренцевской впадины открыты Мурманское, Лудловское газовые, Ледовое, Штокмановское газоконденсатные месторождения. Северо-Баренцевская впадина характеризуется исключительно слабой геолого-геофизической изученностью, в её пределах нет обнаруженных месторождений УВ. Однако, геологоразведочные работы, в том числе УВ картирование, могут указать на наличие здесь многочисленных зон флюидоразгрузки, в частности, таких уникальных, как газогидратные поля.

Актуальность изучения флюидных потоков на акваториях объясняется смещением внимания современной нефтегазовой индустрии на участки континентального шельфа Мирового океана и рассмотрению их в качестве новых районов добычи УВ сырья.

В рамках Международной программы ЮНЕСКО-МГУ «Training-through-Research» в период с 18 июля по 17 августа 2020 года на НИС «Академик Николай Страхов» была выполнена комплексная морская геолого-геофизическая экспедиция в северо-восточный сектор Баренцева моря, нацеленная на получение новых сведений о строении верхних горизонтов осадочного чехла, а также на изучение современных геологических процессов. Одной из главных задач экспедиции было геохимическое картирование УВ с целью поиска зон фокусированной флюидоразгрузки.

В данной работе рассматривается полигон, получивший в экспедиции рабочее название «Стикер», приуроченный к седловине Страхова, разделяющей в современном рельефе морского дна желоб Седова и Восточно-Баренцевоморскую впадину. Интерес к этому участку вызван обнаруженными в рейсе свидетельствами былого присутствия здесь газовых гидратов. В пределах этого полигона по данным многолучевого эхолота были закартированны ледниковые формы рельефа морского дна, в англоязычной литературе получившие название «hill&hole pairs» (рис. 1). Они представлены локальными холмами и приуроченными к ним бороздами. Высота холмов над уровнем дна может достигать 200 метров. Стоит отметить, что объем, который занимает область отрицательной формы рельефа (“hole”), всегда примерно равен объему отложений, слагающих положительную форму (“hill”). По существующим на сегодняшний день представлениям такие структуры, вероятно, связаны с присутствием в прошлом природных гидратов метана в подледниковых отложений (Winsborrow at al., 2016).

Механизм образования структур «hill&hole pairs» впервые был подробно описан в работе Уинсборроу (Winsborrow at al., 2016). Так, в период последнего оледенения территория современного Баренцева моря была полностью занята покровным оледенением. В подледниковом комплексе осадочных отложений существовали термобарические условия зоны стабильности газовых гидратов. В таких условиях области

осадочного разреза, для которых была характерна разгрузка газов из нижележащих залежей углеводородов, могли содержать в себе скопления газовых гидратов (Winsborrow at al., 2016). При формировании газовых гидратов происходит образование кристаллических структур воды, источником которой являются поровые воды осадков. Таким образом, водонасыщенность областей скопления гидратов и вмещающих их толщ уменьшается, вместе с чем изменяются реологические и коагулятивные свойства осадков. Согласно механизму образования «hill&hole pairs», зоны аномалий физических свойств иначе реагировали на движение ледника и могли быть мобилизованы, в отличие от окружающих осадков. Характер такой мобилизации осадков выражается в прямых глубоких бороздах (hole), материал из которых был переотложен и концентрировался в приуроченных к бороздам возвышенностях (hill).

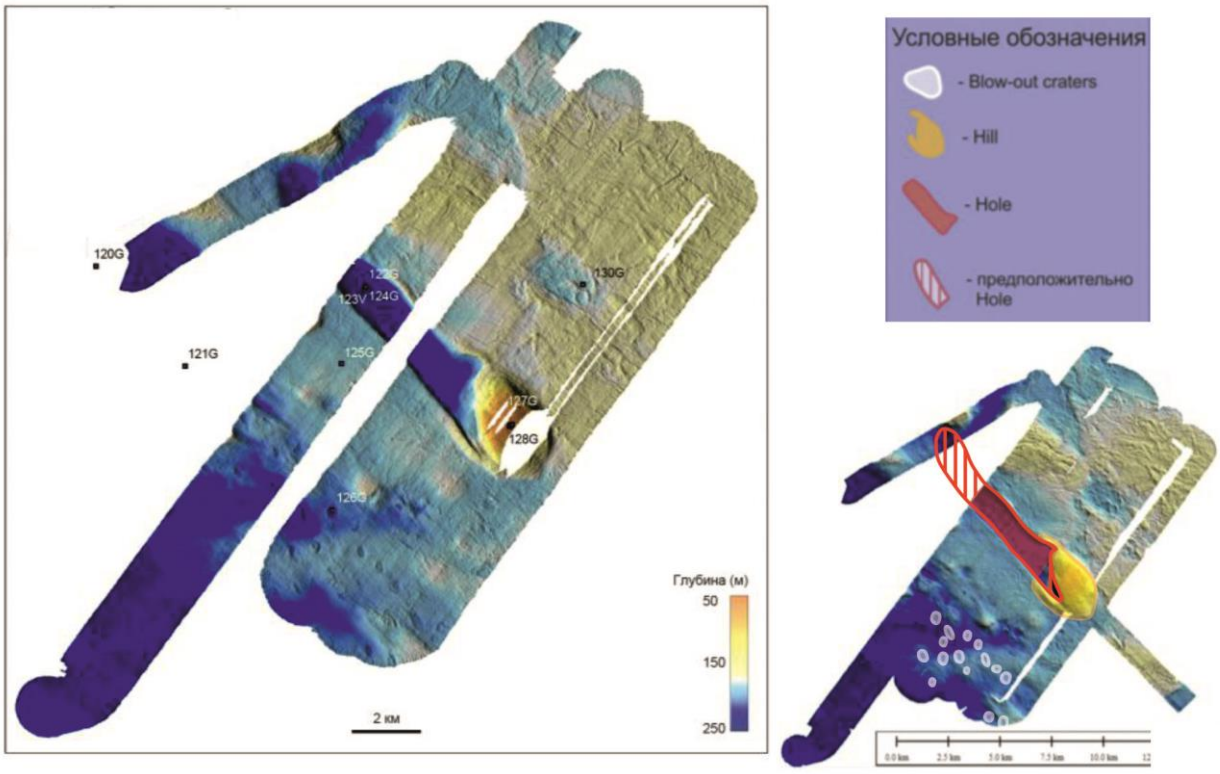


Рисунок 1. Карта рельефа морского дна на полигоне «Стикер» с расположенными станциями донного пробоотбора (слева) с выделением основных форм рельефа (справа)

Для подтверждения описанного механизма формирования структур «hill&hole pairs» был выполнен донный пробоотбор. В частности, на полигоне «Стикер» было отобрано 8 станций (Рис. 1). Станции TTR19-AR127G, TTR19-AR128G и TTR19AR-122, приурочены, соответственно, к борозде и к центральной части холма. Состав, плотность и состояние отложений, слагающих вершину холма, указывают на такие особенности, как плохая сортировка и сильное уплотнение осадков, которые могли сформироваться при воздействии высоких давлений, оказываемых ледником. Разрез станции, отобранной из борозды, в верхней части представлен отложениями морского генезиса, а нижняя его часть схожа с разрезом станций, отобранных на вершине холма. Таким образом, на основании

уже предварительного описания отложений можно подтвердить ледниковое происхождение структуры.

В районе развития структур «hill&hole pairs» по батиметрическим данным на полигоне «Стикер» были обнаружены изометричные депрессии на поверхности дна, т.н. «blow-out craters» (Andreassen at al., 2017), глубиной от 1 до 20 метров, которые, предположительно, являются кратерами взрыва, напрямую связанными с присутствием газовых гидратов в исследуемом районе акватории в прошлом. Согласно гипотезе Андрэассэн (Andreassen at al., 2017) отступание ледника приводило к изменению термобарических условий, в которых находились подледниковые коренные породы, заключавшие в себе газовые гидраты. Изменение термобарических условий приводило к смещению нижней границы зоны стабильности газогидратов (Andreassen at al., 2017), что послужило причиной разложения глубинных гидратов, высвобождению избыточного количества метана и воды, формированию положительной структуры (т.н. «пинго»), сложенной осадками, насыщенными газовыми гидратами. Продолжавшееся поступление газов из нижележащих толщ увеличивало поровое давление в осадке под структурой пинго до критических значений, при которых произошло резкое, взрывное высвобождение газа из-под газовых гидратов, повлекшее к разрушению структуры и выносу осадочного материала (Andreassen at al., 2017). Поскольку газовые гидраты накапливались в толще пород, залегающих под ледником, то взрывные процессы могли затрагивать только ледниковые и подстилающие их отложения. Таким образом, стенки кратеров взрыва должны вскрывать ледниковые и\или коренные породы.

Для подтверждения механизма образования обнаруженных впадин были проанализированы осадки станций TTR19-AR120G, TTR19-AR121G и TTR19-AR126G, отобранных, непосредственно, из предполагаемых кратеров взрыва. В нижних частях разрезов наблюдалось наличие слоя серых плотных сухих алевритисто-песчанистых глин. Примечательно, что обломки пород, расположенные в этом слое, представлены одними и теми же обломками плитчатых аргиллитов, что нехарактерно для плохо сортированного, разнородного материала ледниковых отложений. По предварительной версии, мы считаем, что описанный литотип здесь представляет так называемые «гляцио-тектониты» – породы, образованные на месте из коренных пород, в результате интенсивного механического воздействия ледника.

На полигоне «Стикер» был отобран 31 образец для определения молекулярного состава газа и 31 образец для изучения органического вещества осадков на предмет его син- или эпигенетичности. Дальнейшее их изучение будет проводиться в лабораториях МГУ имени М.В. Ломоносова. Полученные данные дополнят представления о современных геологических процессах, происходящих в северо-восточном секторе Баренцева моря. Подтверждение факта присутствия большого подтока флюидов в настоящее время и в недалеком геологическом прошлом к поверхности дна на полигоне «Стикер», позволит отнести описанные выше структуры в регионе исследований к признакам разгрузки углеводородов.

Список литературы

Andreassen, K., Hubbard, A., Winsborrow, M., Patton, H., Vadakkepuliyambatta, S., Plaza-Faverola, A., Gudlaugsson, E., Serov, P., Deryabin, A., Mattingsdal, R., Mienert, J., Bünz, S.. Massive blow-out craters formed by hydrate-controlled methane expulsion from the Arctic seafloor //Science. – 2017. – Т. 356. – №. 6341. – С. 948-953.

Winsborrow, M., Andreassen, K., Hubbard, A., Plaza-Faverola, A., Gudlaugsson, E., Patton, H.. Regulation of ice stream flow through subglacial formation of gas hydrates //Nature Geoscience. – 2016. – Т. 9. – №. 5. – С. 370-374.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС НА ПУТИ К ОСВОЕНИЮ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ.

Логвина Елизавета Александровна, Матвеева Татьяна Валерьевна, Назарова Ольга Викторовна, Бочкарев Алексей Викторович, Семенова Анастасия Андреевна
ФГБУ «Всероссийский Научно-Исследовательский Институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»), Санкт-Петербург

Изучение метастабильных газовых гидратов сопряжено с определенными трудностями. При изменении температурных и барических условий они подвергаются немедленному разложению на газ и воду. Таким образом, литологические, геофизические и физико-механические свойства отложений изменяются. Присутствие гидратов в отложениях позволяют выявить петрофизические, геохимические и изотопные аномалии. По этой причине при пробоотборе важно сохранить газовые гидраты в стабильном состоянии. Это возможно при сохранении и поддержании *P-T* параметров отбора гидратов соответствующими их значениям *in situ*. Решением этого вопроса занимаются ведущие международные инженерно-технические группы с начала 80-х годов. В наши дни разработаны и произведены различные виды специализированных пробоотборников и аналитических комплексов, способных сохранять гидраты в неизменном состоянии на всех этапах исследований.

Первый герметизирующий пробоотборник (ГПО) *PCB* (*англ.* Pressure Core Barrel - пробоотборник под давлением) прошел успешные испытания в 1982 г. в 76 рейсе глубоководного бурения программы *DSDP* [Kvenvolden, 1982]. В те же годы в СССР был запатентован пробоотборник, позволяющий отбирать газонасыщенные и гидратосодержащие отложения с сохранением структуры осадка, без сохранения давления [Никищенко и др., 1989], но он так и остался прототипом. К вопросу герметизации кернов страны бывшего СССР вернулись только в начале 2000-х годов. Один из запатентованных приборов был предназначен для бурения скважин с отбором герметизированного керна в районах распространения многолетнемерзлых пород на суше [Карасевич и др., 2003]. Чистяков В.К. и Вишневский Н.А. предложили использовать только температуру стабильности гидратов [Чистяков и др., 2009]. Так или иначе, технологический прогресс в области изучения газовых гидратов в XXI веке обеспечивался, разработкой, усовершенствованием и автоматизацией не только ГПО, но и стремительной эволюцией инструментов исследования гидратоносных кернов при низких температурах с сохранением постоянного давления как в условиях экспедиционных работ, так и в стационарных лабораториях. Полуавтоматические системы, оснащенные подсоединяемыми модулями, позволяющие минимизировать время обработки проб, повысить точность исследований и сохранить целостность гидратоносных отложений, получили общее название герметичных пробоанализаторов (ГПА). Производством ГПА занимаются, в частности, в рамках программы Европейского союза морских наук и технологий (*англ.* European Union’s Marine Science and Technology Program), Международной программы исследования океана (*англ.* International Ocean Discovery Program, IODP) и др.

К началу 2020 г. насчитывалось около 20 различных типов ГПО (Рис.). Их особенностью, в первую очередь, является сохранение давления, соответствующего его значениям *in situ*, после извлечения пробоотборника из грунта. Некоторые разновидности оснащены сосудом Дьюара с жидким азотом, для сохранения низкой температуры отбираемых отложений. В качестве приводных механизмов для ГПО применяются гравитационные, гравитационные поршневые, ротационные колонковые, а также вдавливаемые конструкции. В основе запирающего механизма используются шаровые или обратные клапаны.

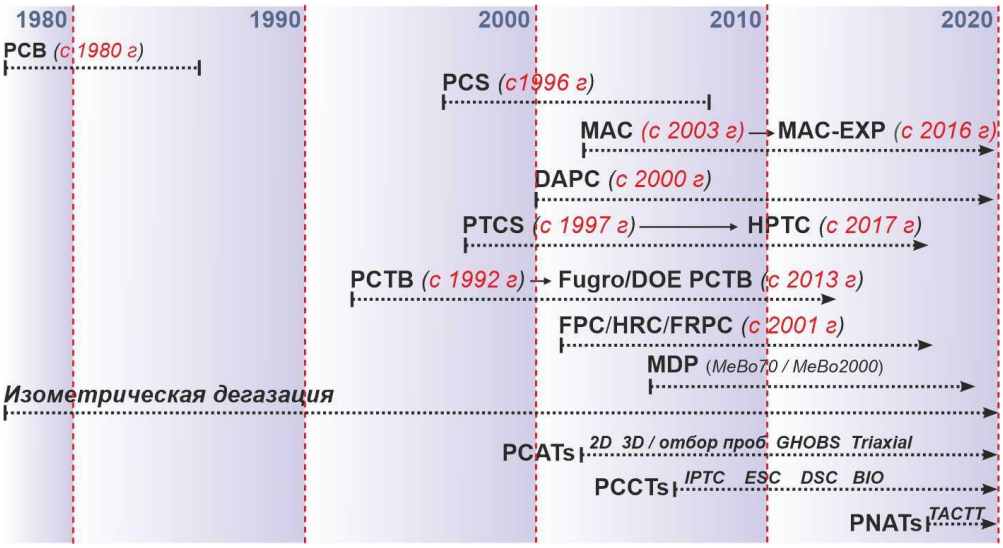


Рис. Этапы модернизации технических средств и методов изучения морских гидратоносных отложений. PCB - *англ.* Pressure Core Barrel [Kvenvolden et al, 1982]; PCS - *англ.* Pressure Core Sampler [Pettigrew et al., 1992]; MAC - *англ.* Multiple Autoclave Corer [Abegg et al., 2008]; MAC-EXP - *англ.* Multiple Autoclave Corer Experiment [Jackson et al., 2017]; DAPC - *англ.* Dynamic Autoclave Piston Corer [Abegg et al., 2008]; PTCS - *англ.* Pressure Temperature Corer System [Rack, 2001]; HPTC - *англ.* Hight Pressure Temperature Corer [Schultheiss et al., 2017]; PCTB - *англ.* Pressure Core Tool with Ball valve [Pettigrew et al., 1992]; Fugro/DOE PCTB - *англ.* Pressure Corer Tool with Ball valve coring system [Schultheiss et al., 2006]; FPC - *англ.* Fugro Pressure Corer [Collett et al., 2013]; HRC - *англ.* HYACE Rotary Corer [Collett et al., 2013]; FRPC - *англ.* Fugro Rotary Pressure Corer [Collett et al., 2013]; MDP - *герм.* MeBo-Druckkern-Probennehmer [Pape et al., 2017]; PCATS - *англ.* Pressure Core Analysis and Transfer System [www.geotek.co.uk]; PCCTs - англ. Pressure Core Characterization Tools [Santamarina et al., 2012]; PNATs - *англ.* Pressure-core NondesTructive [Nagao et al., 2015].

В зависимости от комплектации и модификации ГПО, минимальный выход колонки нелитифицированных отложений составляет 0,6 м (*MAC*), а максимальный ограничивается возможностями буровой установки и количеством сменных снарядов, оснащенных герметизирующими камерами. Диаметр отбираемых проб определяется размером затворного клапана (шарового или обратного) и изменяется от 0,43 (*PCS*) до 10 см (*MAC*). Рабочее давление в герметизирующей камере зависит от ее конструкции и варьируется в пределах 14 (*MAC*) - 69 (*PCS*) МПа. Контролируемая разгерметизация проб использовалась для определения присутствия гидратов в отложениях. Данный способ и сейчас реализуется во всех типах ГПО. Современные ГПО, как правило, совместимы с ГПА, что позволяет существенно расширить аналитические возможности изучения гидратосодержащих отложений без разгерметизации и ускорить процесс исследования. Сохранение температурных параметров достигается путем быстрой криозаморозки пробы при перемещении отложений в герметизирующую камеру, оснащенную сосудом Дьюара с жидким азотом. При изучении гидратоносных отложений, пробоотборники могут быть оснащены дополнительными встраиваемыми измерителями температуры, давления, электро- и теплопроводности и др., а также различными датчиками (как контактными, так и бесконтактными). Возможности их применения ограничиваются не только размерами пробоотборника, но и частотой поломок датчиков при внедрении снарядов в отложения, т.к. они крепятся на их внешней поверхности. По этой причине их используют довольно редко. Например, для проведения геотермических

исследований применяют зонды, а для определения скоростей продольных и поперечных сейсмоволн, прочностных свойств, электросопротивления и температуры отложений, используются датчики контактного типа [Yun et al., 2006]; для измерения гамма- и рентгеновского излучений и скоростей продольных волн и др. – бесконтактного [Schultheiss et al., 2006; Abegg et al., 2008].

Конструкционной особенностью ГПА является сохранение эквивалентного давления при срабатывании клапанов (шаровых и/или игольчатых) при обработке керна и наличие отдельных модулей стыкующихся между собой. Сменные модули позволяют провести измерения физических, химических и механических свойств и собственно газовых гидратов, и вмещающих их отложений.

По сравнению с безгидратными влагонасыщенными отложениями, газонасыщенные отложения и собственно газовые гидраты, обладают рядом особых признаков. В частности, они характеризуются специфическими акустическими, упругими, электрическими свойствами и теплофизическими параметрами. Изменения, вызванные наличием гидратов, фиксируются в виде аномалий (так называемые гидратообусловленные аномалии). Мультисенсорные модули, являющиеся конструктивной особенностью всех разновидностях ГПА, позволяют изучить физические свойства гидратосодержащих отложений путем измерения их акустических, электрических и петрофизические характеристик. Так, измерение плотности отложений производится гамма-гамма плотностным методом. Для оценки пористости и проницаемости отложений производятся измерения удельного электрического сопротивления, скоростей продольных и поперечных волн и акустического импеданса. Рентгенографические исследования и изучение гамма-излучения позволяют выявить неоднородности отложений и учесть влияние анизотропии осадков на изменение их акустических свойств. Структурные особенности отложений оцениваются по результатам съемки керна в инфракрасной камере с линейной развёрткой высокого разрешения и датчиками спектрометрического гамма-излучения. Важно отметить, что при всех перечисленных выше процедурах сохраняется целостность гидратосодержащих отложений.

Большинство из перечисленных параметров необходимо в том числе при исследовании механизмов формирования аутигенных карбонатов, которые зачастую ассоциируют с газовыми гидратами. Условия формирования аутигенных карбонатообразований в диа- и катагенезе до сих пор изучены недостаточно. Карбонаты зоны катагенеза, сформированные в областях распространения нефтегазоматеринских и коллекторских толщ, могут быть использованы в качестве дополнительных поисковых критериев на углеводороды. Применение модулей ГПА способных отбирать ненарушенные пробы осадков, содержащих карбонаты, существенно расширяют возможности при решении вопроса реконструкция механизмов формирования аутигенных карбонатов.

Заключение. Исследование гидратосодержащих отложений непосредственно внутри герметизирующего снаряда стало возможным благодаря созданию революционных технологий изучения газовых гидратов, являющихся, пожалуй, одними из важнейших достижений начала XXI века. Эволюция систем герметичного отбора проб отражает веяние времени. Современные разработки не только сохранили возможности первых ГПО, разработанных еще в начале 80-х, но и приумножили их. В настоящее время все основные операции осуществляются в автоматическом или полуавтоматическом режимах. Спектр аналитических возможностей значительно расширился. При этом, изученные отложения сохраняются максимально неизмененными, что, позволяет проводить дополнительные исследования обычным способом. Как показал зарубежный опыт проведения бурения на

гидраты, применение стандартных пробоотборников в комбинации с ГПА наиболее целесообразно. Такой подход позволяет в разы оптимизировать геологический пробоотбор.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 19-17-00226.

Список литературы

Никищенко С.А., Моисеенко В.Г., Гоц М.А., Бляшин И.В. Донный пробоотборник // Авторское свидетельство СССР SU 568861 A1, - 1989, - 3 с.

Карасевич А.М., Сторонский Н.М., Хрюкин В.Т., и др. Керногазонаборник // Патент RU 2209922 C1. – 2003, 12 с.

Чистяков В.К., Маляренко Е.В., Вишневский Н.А. Способ получения керна из гидратосодержащих пород и устройство для его осуществления // Патент RU 2369719 C1, - 2009. - 9 с.

Abegg F., Hohnberg H.J., Pape T., et al. Development and application of pressure-core-sampling systems for the investigation of gas- and gas-hydrate bearing sediments. // Deep Sea Res. Part I Oceanogr Res Pap. - 55 (11), - 2008. – P. 1590-1599.

Collett T., Bahk J., Frye M., et al. Historical methane hydrates project review. // Report prepared for the U.S. Department of Energy – national Energy Technology Laboratory by the Consortium for Ocean Leadership. - 2013. - Part 1:110; - Part 2:32; - Part 3:42.

Jackson, K., Witt, U., Chalmer S., et al. A System for retrieval and incubation of benthic Sediment Cores at in situ ambient Pressure and under Controlled or manipulated environmental conditions. // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. - 2017. - 34 (5), - P.983-1000.

Kvenvolden K.A., Barnard L.A., Cameron D.H. Pressure core barrel: Application to the study of gas hydrates, deep-sea drilling project site 533, leg 76. // Initial Reports DSDP. - 1982. – 76. P. 367–375.

Nagano Yu, Weiren L., Yamamoto K. In-situ stress analysis using the anelastic strain recovery (ASR) method at the first offshore gas production test site in the eastern Nankai Trough, Japan. // Mar Pet Geol. - 2015. - 66 (2), - P. 418-424.

Pape T., Hohnberg H.-J., Wunsch D., et al. Design and deployment of autoclave pressure vessels for the portable deep-sea drill rig MeBo (Meeresboden-Bohrgerät). // Science Drilling. - 2017. - 23, P. 29-37.

Pettigrew T.L. The design and operation of a wireline pressure core sampler (PCS). // ODP Technical Note 17. - 1992.

Rack F. “Preliminary Evaluation of Existing Pressure/Temperature Coring Systems”. From In-Situ Sampling and Characterization of Naturally Occurring Marine Hydrate Using The D/V JOIDES Resolution // Joint Oceanographic Institutions. October. - 2001.

Santamarina J.C., Dai Sh., Jang J., Terzariol M. Pressure Core Characterization Tools for Hydrate-Bearing Sediment. Scientific Drilling. - 2012. - 14, - P. 44-48.

Schultheiss P., Holland M., Roberts J., Bigalke N., Mimitz M. Advances in Wireline Pressure Coring, Core Handling, and Core Analysis Related to Gas Hydrate Drilling Investigations. // 9th International Conference on Gas Hydrates. Denver. Et al. *J.A., Amann H., Thjunjoto Parkes R.J., Martin, D., Rothfuss, M., Tyunder, F., Jacksonl, P.D.* Pressure coring, logging and subsampling with the HYACINTH system. // New Techniques in Sediment Core Analysis, Rothwell G. (eds.). Geol. Soc. London, Spec. Pub. - 2006. - 267, - P. 151-163.

Yun T.S., Narsilio G.A., Santamarina J.C., Ruppel C. Instrumented pressure testing chamber for characterizing sediment cores recovered at in situ hydrostatic pressure. // Mar Geol. -2006.- 29(3-4), - P. 285-293.

АУТИГЕНЕЗ ГАЗОГИДРАТОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СТРУКТУРЫ ХАОС (ОХОТСКОЕ МОРЕ).

Логвина Елизавета Александровна [1], Крылов Алексей Алексеевич [1, 2, 3] Матвеева Татьяна Валерьевна [1]

[1] *ФГБУ «Всероссийский Научно-Исследовательский Институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»), Санкт-Петербург*

[2] *Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург*

[3] *ФГБУН Лимнологический институт Сибирского отделения РАН, Иркутск*

Аутигенезом называется процесс, при котором происходит образование минералов *in situ* преимущественно в условиях диа- и катагенеза [Диагенез…, 1971]. Такие условия обеспечиваются, в частности, в отложениях очагов разгрузки флюидов (ОРФ), представленных сипами, вентами или грязевыми вулканами [Mazurenko, Soloviev, 2003], в которых фокусированные потоки углеводородных газов, газонасыщенной воды, нефти выносятся на поверхность по трещинам, разломам и пр., что отображается специфическими структурами в рельефе дна. В пределах ОРФ формируются карбонаты особого типа - метано-производные аутигенные карбонаты (*англ.* methane-derived authigenic carbonates [Hathaway & Degenes, 1968]). Базовыми механизмами, способствующими кристаллизации карбонатов данного типа, являются - окисление или генерация метана, деструкция органического вещества (ОВ) или керогена [Крылов, Логвина, 2012]. Очень часто метано-производные карбонаты находятся в отложениях ОРФ в ассоциации с газовыми гидратами. Необходимым (среди прочих) условием для образования последних является достаточное для перенасыщения поровых вод количество газа (в первую очередь метана). Изучение особенностей такой ассоциации представляется интересным и актуальным, в том числе в связи с тем, что они являются одной из составляющих геохимического цикла углерода в Океане.

На рисунке отмечены районы, где в акватории Охотского моря были обнаружены ОРФ: на СЗ (Рис. а) и СВ (Рис. б 1) склонах котловины Дерюгина [Астахова, 1987; 1990; 2007; Деркачев и др., 2000; 2002; Krylov et al., 2007; Mazurenko et al., 2009], в прибрежье о. Парамушир (Рис. б 2) [Леин и др., 1989; Гинсбург, Соловьев, 1994] и на СЗ склоне Курильской котловины в прибрежье о. Сахалин (Рис. б 3) [Operation…, 2014].

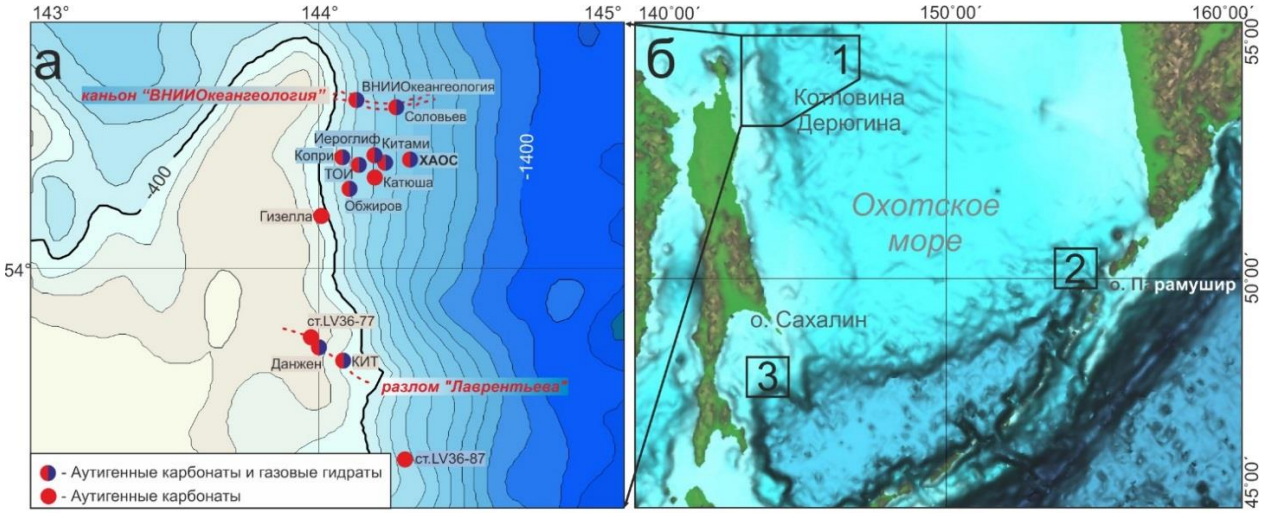


Рис. Батиметрические карта (а) СЗ склона котловины Дерюгина и (б) Охотского моря с положением районов, где были обнаружены ОРФ.

Изучаемые карбонаты были отобраны из отложений газогидратоносной структуры ХАОС в 2003 и 2005 годах, в рамках проекта CHAOS («Hydro-carbon hydrate accumulations in the Okhotsk sea»). Целю работы была характеристика условий и выделение особенностей формирования аутигенных карбонатов, находящихся в ассоциации с газовыми гидратами в отложениях ОРФ ХАОС. Для решения поставленной цели были решены следующие задачи: исследован и проанализирован минералогический, изотопный, химический состав карбонатов, определен их возраст. Оценена вероятность формирования различных карбонатных минералов в современных обстановках на основании данных гидрохимического моделирования. Изучен литологический и минералогический состав вмещающих отложений.

Очаг разгрузки ХАОС расположен в нижней части склона котловины Дерюгина на глубине около 960 м. Осадки представлены голоценовыми терригенно-диатомовыми пелитовыми алевритами и алевритовыми пелитами с линзами и пятнами гидротроилита, типичными для этой части Охотского моря. Преобладает оливково-зеленый цвет осадков, на отдельных горизонтах отмечаются линзы и размытые прослои темно-серого цвета. Темные цвета осадков приурочены к центральной части ОРФ. В осадках ярко выражены типичные для очагов разгрузки признаки - сильный запах H_2S, множественные линзы и прослои гидротроилита, специфическая творожистая текстура, обусловленная влаго- и газонасыщенными горизонтами, включения специфической хемоаутотрофной фауны (раковины и детрит *Calyptogena*). В отложениях четырех станций, кроме аутигенных карбонатов, присутствовали газовые гидраты. Карбонаты были обнаружены на различных поддонных глубинах в отложениях 9 из 14 грунтовых станций.

В пределах ОРФ ХАОС аутигенные карбонаты были обнаружены на различных горизонтах осадочного разреза от поверхности до 5,5 м. Как правило, карбонаты наблюдались в отложениях выше газонасыщенных или гидратоносных горизонтов либо непосредственно в нем. Насыщенность осадков карбонатными образованиями весьма неравномерна – от единичных экземпляров до нескольких горизонтов.

Морфологически карбонаты находятся на различных, но все же ранних стадиях формирования и делятся на два типа. «Зародыши» выделяются на фоне однородных по составу вмещающих светло-зеленых плотных осадков в виде светлых обособлений. Эта же разновидность с мягкой внешней зоной покрывает поверхность или выполняют внутреннюю часть раковин. «Сформированные» конкреции - крупные (до 10 см) плотные, ветвистые или округлой формы, цементирующие осадок и раковины различной степени сохранности.

Микроскопические исследования показали, что конкреции образованы пелитоморфным карбонатом, цементирующим терригенную глинисто-обломочную матрицу и органический детрит (спикулы губок, фораминиферы, диатомеи, радиолярии, и т.д.), заполняя межгранулярное поровое пространство. Распределение терригенной составляющей неравномерно, наибольшие концентрации наблюдаются на периферийных частях конкреций.

Основным карбонатным минералом является высокомагнезиальный кальцит, иногда в виде редкой примеси встречается доломит. Наличие аутигенного доломита может быть связано с тем, что его осаждение протекает в условиях низких концентраций сульфат-иона [Baker and Kastner, 1981] под воздействием высокой концентрации углекислоты. Последние условия могут создаваться при разложении ОВ в ходе метаногенерации, что приводит к повышению в поровых водах гидрокарбонат иона, при этом происходит насыщение и пересыщение поровой воды не только CO_2, но и CH_4 [Тищенок и др., 2001] что может способствовать формированию газовых гидратов.

Вероятностные характеристики формирования карбонатных минералов - арагонита, кальцита и доломита, в отложениях структуры ХАОС были получены в результате расчетов коэффициентов насыщения поровых вод. По данным моделирования, благоприятные условия для формирование карбонатных минералов соблюдаются на поддонных глубинах ниже 1 м.

Палеотемпературы и теоретические значения $\delta^{18}O$ воды были рассчитаны на основании уравнения $10^3 \ln\alpha_{Mg\text{-кальцит-вода}} = 2{,}78 \cdot 10^6 T^{-2} - 2{,}89 + 0{,}06 Mg$(мол.%). Полученные значения палеотемператур, в целом, превышают измеренные *in situ* (-2,6…8°С) и составляют - 2,5…26,6°С. Очевидно, что измеренные значения $\delta^{18}O$ карбонатов (1,5-5,9‰ *VPDB*) обусловлены изотопным составом поровых вод, рассчитанные теоретические значения которых, изменяются в пределах -3,3…1,2‰ *VSMOW*. Такие вариации могут быть вызваны или с разгрузкой воды с отличным от морской ($\delta^{18}O$ = 0‰) изотопным составом ($\delta^{18}O$ = -1,5‰) [Mazurenko et al., 2009] и/или процессами, связанными с присутствием в отложениях газовых гидратов.

Теоретический изотопный состав углерода метана рассчитывался исходя из измеренных величин $\delta^{13}C$ карбонатов (–46,2…–37,4‰ *VPDB*) путем решения обратной задачи, описанной в работах [Логвина, 2009; Крылов и др., 2015]. Искомые теоретические значения $\delta^{13}C$ окисляющегося метана в среднем составили -78,7...-47,2‰, при среднем -62,3‰. Средние измеренные значения метана газовых гидратов составили -64,2‰ [Mazurenko et al., 2009]. Теоретически рассчитанные и измеренные значения изотопного состава углерода метана близки и свидетельствуют о его биохимическом происхождении. Источником этого газа, по всей вероятности, являются нефтегазоносные площади Сахалина и примыкающего к нему шельфа [Гинсбург, Соловьев, 1994].

Основными источниками углерода, принимающими участие в формировании аутигенных карбонатов в ОРФ, являются: углеводороды, ОВ и морская (придонная) вода. Были рассчитаны доли (баланс масс) каждого из перечисленных источников: при $\delta^{13}C_{CH_4}$ = -70,3‰, F_{CH_4} ~34%, а F_{OB} ~ 66%, а при $\delta^{13}C_{CH_4}$ = -72,2‰, F_{CH_4} ~31%, а F_{OB} ~ 69%. Таким образом, был определен преобладающий источник углерода при формировании карбонатов ОРФ ХАОС.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 19-17-00226.

Список литературы

Астахова Н.В., Липкина М.И., Мельниченко Ю.И. Гидротермальная баритовая минерализация во впадине Дерюгина Охотского моря // ДАН СССР. - 1987. - Т. 295. - С. 212-215.

Астахова Н.В., Нарнов Г.Л., Якушева И.Н. Карбонатно-баритовая минерализация во впадине Дерюгина (Охотское море) // Тихоокеанская геология. - 1990. - № 3. - С. 37-42.

Астахова Н.В. Аутигенные образования в позднекайнозойских отложениях окраинных морей Востока Азии. - Владивосток: Дальнаука. - 2007. - 244 с.

Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. СПб. ВНИИОкенгеология. - 1994. - 199 с.

Деркачев А.Н., Борман Г., Грайнерт Й. и др. Аутигенная карбонатная и баритовая минерализация в осадках впадины Дерюгина (Охотское море) // Литол. и полезн. ископаемые. - 2000. - № 6. - С. 568-585.

Деркачев А.Н., Обжиров А.И., Борман Г. и др. Аутигенное минералообразование на участках проявления холодных газово-флюидных эманаций на дне Охотского моря // Условия образования донных осадков и связанных с ними полезных ископаемых. Влад.: Дальнаука. - 2002. - С. 47-60.

Диагенез и катагенез осадочных образований. Науки о земле. Т. 36. Под ред. Г. Ларсена и Дж. Чилингара. 1967. Перевод с англ., под ред. Вассоевича Н.Б. / М.: Мир. – 1971. 464 с.

Крылов А.А., Логвина Е.А., Матвеева Т.В., Прасолов Э.М., Сапега В.Ф., Демидова А.Л., Радченко М.С. Икаит ($CaCO_3 \cdot 6H_2O$) в донных отложениях моря Лаптевых и роль анаэробного окисления метана в процессе его формирования // Записки Русского минералогического общества. - 2015. - № 4. - С. 61-75.

Крылов А.А., Логвина Е.А. Механизмы формирования аутигенных карбонатов в условиях субаквального диагенеза. // Материалы Всероссийского литологического совещания, посвященного 100-летию со дня рождения Л.Б. Рухина. Том. 2. Санкт-Петербург. - 2012. - С. 59-60

Леин А.Ю., Галченко В.Ф., Покровский Б.Г., и др. Морские карбонатные конкреции как результат процессов микробного окисления газгидратного метана в Охотском море // Геохимия. - 1989. - № 10. - С. 1396-1406.

Логвина Е.А. Аутигенное карбонатообразование в газогидратообразующих очагах разгрузки флюидов. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана. Санкт-Петербург. - 2009. - 364 с.

Тищенко П.Я., Свининников А.И., Павлова Г.Ю., Волкова Т.И., Ильина Е.М. Образование доломита в Японском море / Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН (Владивосток) // Тихоокеан. геология. - 2001. - Т. 20. - № 5. - С. 84-

Baker P.A., Kastner M.J. “Constraints on the formation of sedimentary dolomite.” // Science – 1981. –Vol. 213. – I. 4504. - P. 214-6.

Hathaway J.C. and Degens E.I. Methane Derived Marine Carbonate of Pleistocene Age // Science. - 1968. - Vol. 165. - P. 690–692.

Krylov A., Mazurenko L., Hachikubo A. et al. Sediments and Authigenic Carbonates Related to Gas-Hydrates in the Sea of Okhotsk: First Results from the CHAOS 2005 Expedition // Gas Hydrates for the Future Energy and Environment, Proceedings of the 2nd International Workshop on Gas Hydrate Studies and Other Related Topics - for the Future Energy and Environment Considerations - October 22-23, 2005 Kitami, Japan. Eds. Hideyuki Tsunemoto, Hitoshi Shoji and Satoshi Yamashita. Published by the Kitami Institute of Technology. Kitami. March. - 2007. - P. 49-55.

Mazurenko L.L., Matveeva T.V., Prasolov E.M., et al. Gas hydrate-forming fluids on the NE Sakhalin slope, Sea of Okhotsk // In: D. Long, M.A. Lovell, J.G. Rees & C.A. Rochelle (eds) Sediment-Hosted Gas Hydrates. New Insights on Natural and Synthetic Systems. The Geological Society, London, Special Publication. - 319. - 2009. - P. 51-72

Mazurenko L.L., Soloviev V.A. Worldwide distribution of deep-water fluid venting and potential occurrences of gas hydrate accumulations // Geo-Marine Letters. - 2003. - 23. - P. 162-176.

Operation Report of Sakhalin slope gas hydrate Project II. // *Shoji H. et al.* (eds) RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 62. / New Energy Resources Res. Center, Kitami Inst. of Technology. - 2014. - 111 p.

Морская биология

Устные доклады

АНАТОМИЯ ЦЕЛОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БРАХИОПОДЫ *NOVOCRANIA ANOMALA*

Пландин Фёдор Александрович, Темерева Елена Николаевна
МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

Брахиоподы – реликтовая группа морских бентосных беспозвоночных, строение которых остаётся практически не изученным современными методами исследований. Строение целомической системы имеет и функциональное, и филогенетическое значение, и традиционно используется для сравнительно-анатомического анализа. Особенное значение изучение целомической системы имеет в свете проблемы компартментализации и сегментации тела в различных группах животных.

Анатомия целомической системы «беззамковой» брахиоподы *Novocrania anomala* (Brachiopoda, Craniiformea) была впервые изучена методом 3D-реконструкций по полным сериям гистологических и полутонких срезов. Показано, что целом лофофора состоит из пяти не связанных друг с другом компартментов (рис.): 1) парных больших каналов лофофора; 2) единой системы малых каналов лофофора и периэзофагеального целома («щупальцевый целом»); 3) парных фронтальных камер; 4) туловищного (висцерального) целома, включающего в себя частично обособленные анальную камеру, мышечные камеры и мантийные синусы; 5) парные камеры задних аддукторов.

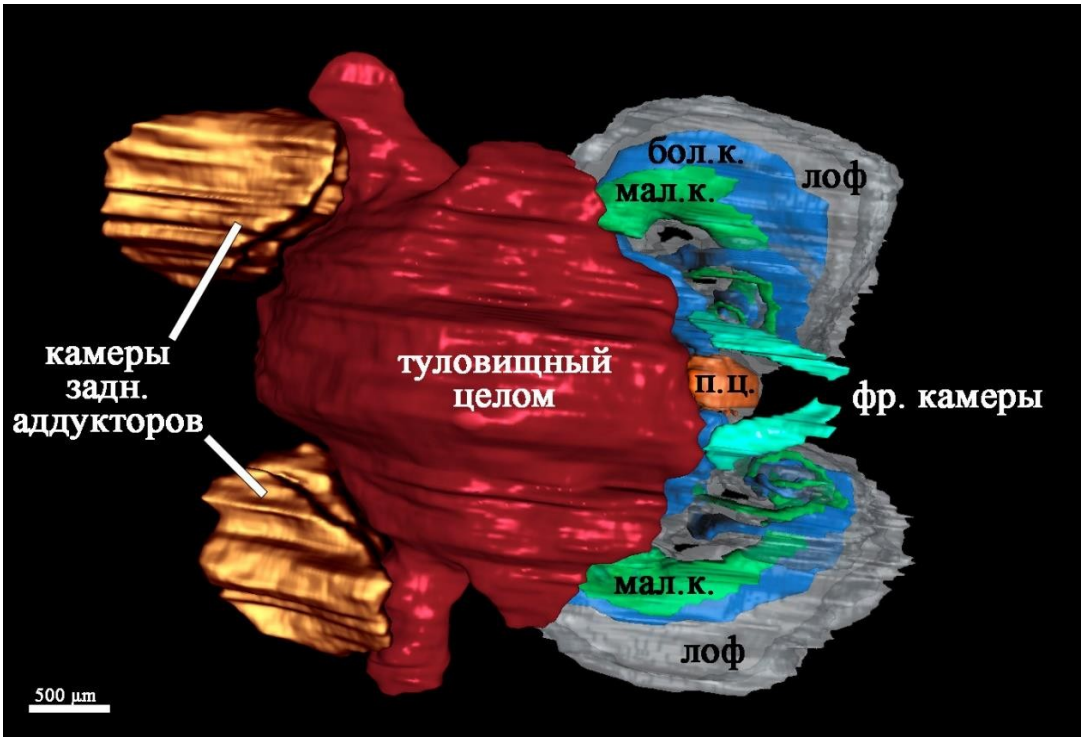


Рисунок. Общая морфология целомической системы *Novocrania anomala*. 3D-реконструкция, вид с дорсальной стороны. Обозначения: бол. к. – большой канал лофофора, лоф – лофофор, мал. к. – малый канал лофофора, п.ц. – периэзофагеальный целом, фр. камеры – фронтальные камеры.

В рамках архицеломатной концепции каналы лофофора и периэзофагеальный целом можно отнести соотнести с мезоцелем (целомической системой лофофора), туловищные целомы, включая обособленные камеры задних аддукторов – к мезоцелю (целомической системе туловища). Положение фронтальных камер в рамках данной схемы остаётся невыясненным и должно стать предметов дальнейших исследований, в том числе онтогенетических. Производные протоцеля (предротового целома) не обнаружены у

Novocrania anomala, что позволяет предполагать примитивность брахиопод подтипа Linguliformea – единственных в типе Brachiopoda, у которых обнаружен предротовой целом (Temereva et al., 2015).

Впервые обнаружены дорсальные выросты больших каналов лофофора, по форме и расположению соответствующие схожим целомическим выростам у замковой брахиоподы *Hemithiris psittacea* (Кузьмина и др., 2006). Впервые детально описана сложная анатомия периэзофагеального целома. Этот целомический компартмент имеет большой объём с вентральной стороны пищевода. Отсюда отходят кольцевые целомические дивертикулы, окружающие пищевод с латеральных сторон и заходящие на его дорсальную сторону. Таким образом, периэзофагеальный целом представляет собой своего рода «муфту», окружающую пищевод. Интересным с филогенетической точки зрения представляется наличие схожих кольцевых дивертикулов у исследованной брахиоподы *H. psittacea* из подтипа Rhynchonelliformea (Kuzmina et al., 2011). От вентральной объёмистой части периэзофагеального целома отходят целомические каналы в оральные щупальца, которые располагаются непосредственно надо ртом и формируют один ряд, а не два, как это имеет место на руках лофофора. Впервые описаны парные фронтальные камеры, которые представляют собой обособленные целомические компартменты, проходящие от переднего края дорсальной складки мантии к основанию лофофора. Так как фронтальные камеры соединены одновременно и с мантией, в которой соприкасаются с мантийными синусами, и с лофофором, в котором проходят близко к большим каналам лофофора, точное соотношение фронтальных камер с целомическими компартментами лофофора и туловища остаётся под вопросом. Фронтальные камеры на всём протяжении содержат продольные мышечные тяжи, которые, вероятно, обеспечивают протракцию лофофора. Туловищный целом подразделён на несколько обособленных камер, которые содержат крупные мышцы, включая внутренние и латеральные косые мышцы и передние аддукторы. Полностью обособлены от туловищного целома камеры задних аддукторов. Предполагается, что полное или частичное обособление мышечных камер от туловищного целома имеет значение для повышения эффективности смыкания створок. Илеопариетальные мезентерии соединяют стенки тела со средней кишкой и несут воронки метанефридиев, что позволяет гомологизировать их с межсегментными диссепиментами типичных метамерных животных. Эти диссепименты располагаются под наклоном относительно дорсовентральной оси тела, что может служить аргументом в пользу гипотезы «складывания» брахиопод на вентральную сторону в филогенезе (Nielsen, 1991). Вентральный мезентерий в задней части тела имеет сложную форму и образует частично обособленную от основного туловищного целома полость. Эта полость интерпретируется как анальная камера целома, описанная Ф. Блохманном в конце XIX века (Blochmann, 1892), но не упоминаемая в литературе с тех пор.

Выявленные особенности анатомической организации целома позволяют по-новому взглянуть на функционирование целомов *N. anomala* в качестве мышечных камер, в том числе на механизмы смыкания створок и протракции лофофора. Не менее важное значение полученные данные имеют для уточнения положения *N. anomala* в системе брахиопод, а также для обсуждения концепций происхождения брахиопод в целом. Особенности организации целомической системы лофофора *N. anomala* сходны с таковыми ранее исследованного *H. psittacea*. Это привносит новые данные в старую проблему систематики брахиопод, и может служить доказательством родства подтипов Craniiformea и Rhynchonelliformea. Расположение и форма вентрального и илеопариетальных мезентериев соответствуют гипотезам «складывания» Нильсена и гипотезе первичной метамерии.

Работа выполнена при поддержке РНФ (18-14-00082).

Список использованных источников:

Кузьмина, Т.В., Малахов, В.В., Темерева, Е.Н., 2006. Анатомия целомической системы замковой брахиоподы *Hemithyris psittacea*. Зоол. жур. 85 (9), 1118–1127.

Blochmann, F., 1892. Die Anatomie von *Crania anomala* (Müller). In: Blochmann, F. (ed) Untersuchungen über den Bau der Brachiopoden I. Gustav Fischer, Germany, Jena, 1–65.

Kuzmina, T.V., Malakhov, V.V., 2011. The Periesophageal Celom of the Articulate Brachiopod *Hemithyris psittacea* (Rhynchonelliformea, Brachiopoda). J Morphol 272, 180–190.

Nielsen, C., 1991. The Development of the Brachiopod *Crania (Neocrania) anomala* (O. F. Müller) and its Phylogenetic Significance. Acta Zool. 72 (1), 7–28.

Temereva, E.N., Gebruk, A.A., Malakhov, V.V., 2015. Demonstration of the preoral coelom in the brachiopod Lingula anatina with consideration of its phylogenetic significance. Zool Anz 256, 22–27.

ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КЛЕТОК В РЕГЕНЕРАЦИИ ИЗВЕСТКОВОЙ ГУБКИ LEUCOSOLENIA CF. VARIABILIS.

Скоренцева Ксения Витальевна[1], Лавров Андрей Игоревич[2], Саидова Алина Александровна[1]

[1]*Кафедра клеточной биологии и гистологии, Биологический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

[2]*Беломорская Биологическая станция им. Н.А. Перцова, Биологический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

Введение

Представители типа Porifera (Губки) являются сестринской к эуметазойным животным группой и обладают уникальным строением тела. Для них не характерно наличие систем органов, кроме водоносной системы (Ereskovsky, 2010; Leys, Hill, 2012), а вопрос о наличии у губок настоящих тканей пока остается дискуссионным (Leys, Riesgo, 2012). Питание, газообмен, выведение метаболитов и половых продуктов у большинства губок происходит через водоносную систему, что обуславливает необходимость её постоянных перестроек и обновления. Эти изменения структур были бы невозможны без высокой пластичности и динамичности клеток губки. Способность клеток к частым миграциям, де- и трансдифференцировкам (Короткова, 1963; Borisenko et al., 2015) определяет выдающиеся регенеративные возможности этих животных. Базальное же положение типа Porifera на филогенетическом древе делает их важными объектами для изучения как процесса регенерации в целом, так и эволюции механизмов, участвующих в нём, а также их роли в становлении самой многоклеточности. В последние годы интерес к этой теме возрос, а с появлением более современных методик исследования появилась возможность изучать процессы регенерации губок на внутриклеточном уровне.

Целью нашей работы стало описание динамических и морфологических параметров клеток и клеточных пластов, принимающих участие в регенерации беломорской известковой губки *Leucosolenia* cf. *variabilis* (Haeckel, 1870) (п/кл Calcaronea, отр. Leucosolenida).

Материалы и методы

Исследуемые особи *Leucosolenia* cf. *variabilis* были собраны в июле 2019 года в окрестностях Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Образцы собирались вручную на верхней сублиторали с глубин 0-2 метра в периоды отлива.

Операция проводилась в фильтрованной морской воде (далее FSW), в нестерильных условиях. Из оскулярной трубки вырезались кольца шириной 2-4 мм, которые затем помещались в пластиковые чашки Петри с FSW при физиологической для вида температуре (8-12°C). Раз в 12 часов половина среды заменялась на свежую, проводилось визуальное наблюдение. Образцы изымались из эксперимента на следующих стадиях: 6 часов после операции (далее чпо), 12-24 чпо (активная стадия формирования регенеративной мембраны, далее РМ) и 30-48 чпо (начало превращения РМ в стенку тела) (Lavrov et al., 2018). Зафиксированные образцы исследовались с использованием методов ТЭМ и СЭМ, а также иммуноцитохимии и конфокальной микроскопии. Для анализа динамики клеток была осуществлена прижизненная цейтраферная съёмка регенерирующих колец.

Динамика движения клеток мезохила в РМ описывалась через скорость и эффективность этого движения. Скорость вычислялась как отношение пройденного пути ко времени движения, а эффективность – как отношение отрезка, соединяющего начальную и конечную точки пути, ко всей длине пути, где единица – наиболее эффективное движение клетки.

Морфологию клеток, составляющих РМ, описывали с использованием двух параметров: площадь (в мкм^2) и округлость, или циркулярность. Округлость определяет отклонение формы клетки от идеального круга, для которого значение параметра равно единице, и рассчитывается по следующей формуле: $4\pi * (\frac{\text{площадь клетки}}{\text{периметр клетки}^2})$. Статистический анализ проводился с использованием t-критерия Стьюдента с коррекцией Уэлча, либо непараметрического критерия Манна-Уитни.

Результаты и обсуждение

Leucosolenia variabilis представляет из себя типичную губку асконоидного типа строения. Наружный слой тела животного, экзопинакодерма, состоит из Т-образных клеток, ядро которых погружено вглубь стенки тела, а цитоплазматический крупный полигональный вырост выступает на поверхность. Внутренний слой губки представлен хоаноцитами, призматическими клетками с каплевидным ядром, на апикальном полюсе которых располагается воротничок из микроворсинок и жгутик. Этот аппарат позволяет хоаноцитам захватывать пищевые частицы из воды (Simpson, 1984; Ereskovsky, 2010). Базальная часть клеток хоанодермы погружена в третий слой стенки тела – мезохил. Это межклеточный матрикс, содержащий множество свободно мигрирующих клеток с разнообразными функциями.

Формирование РМ – трёхслойной надклеточной структуры, являющейся основой для будущей стенки тела на месте раны, происходит за счёт морфологических изменений клеточных пластов экзопинакодермы и хоанодермы (Ereskovsky et al., 2017; Lavrov et al., 2018). Клетки экзопинакодермы становятся уплощенными, а хоаноциты претерпевают трансдифференцировку в плоские эндопинакоциты: призматические клетки уплощаются, утрачивают воротничок микроворсинок и жгутик, меняется форма ядер. На поздних этапах регенерации (30-48 чпо) эндопинакоциты трансдифференцируются обратно в хоаноциты, с восстановлением жгутикового аппарата и призматической формы. Уплощение экзопинакоцитов приводит к увеличению их площади в 1.63 раза (p=0.0002) (рис. 1А), а эндопинакоциты имеют площадь в 1.64 раза большую, чем хоаноциты стенки тела (p<0.0001) (рис. 1Б). Клетки мезохила, составляющие средний слой мембраны, не меняют морфологии.

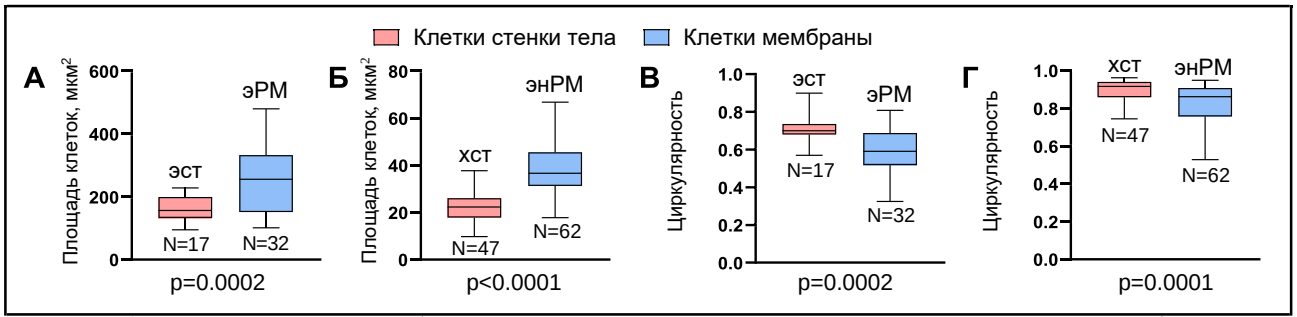


Рисунок 1. Диаграммы размаха (медиана, верхняя и нижняя квартили, минимум-максимум) площади (А, Б) и циркулярности (В, Г) клеток интактной стенки тела и клеток мембраны. эст – экзопинакоциты стенки тела, эРМ – экзопинакоциты РМ; энРМ – эндопинакоциты РМ; хст – хоаноциты стенки тела.

Клетки экзопинакодермы и эндопинакодермы, составляющие мембрану, являются более динамичными, чем клетки интактной стенки тела. Уменьшение параметра округлости клетки указывает на увеличение её двигательной активности, поскольку миграция сопровождается образованием ламеллиподий и филоподий – структур, возникающих на лидирующем крае клетки (Blanchoin et al., 2015). Циркулярность клеток экзопинакодермы в мембране в 1.18 раза ниже, чем в стенке тела (p=0.0002) (рис. 1В), а для эндопинакодермы мембраны в

сравнении с интактной хоанодермой этот показатель составляет 1.06 раза (p=0.0001) (рис. 1Г).

Динамика роста мембраны носит нелинейный характер (рис. 2), и увеличение её площади от момента появления на краю раны до полного закрытия поверхности среза описывается уравнением степенной функции (R^2 = 0.9316). Такой характер увеличения параметра мы связываем с наличием лидирующего сектора мембраны, который с течением времени распространяется на всю окружность среза. Наблюдаемые ступенчатые изменения могут быть связаны со разрывами соединений между клетками на ведущем крае РМ, что сопровождается резким уменьшением её площади. Кроме того, для губок показано явление сократительной активности (Elliott, Leys, 2007), что затрудняет оценку динамики и вносит погрешность в анализируемые данные.

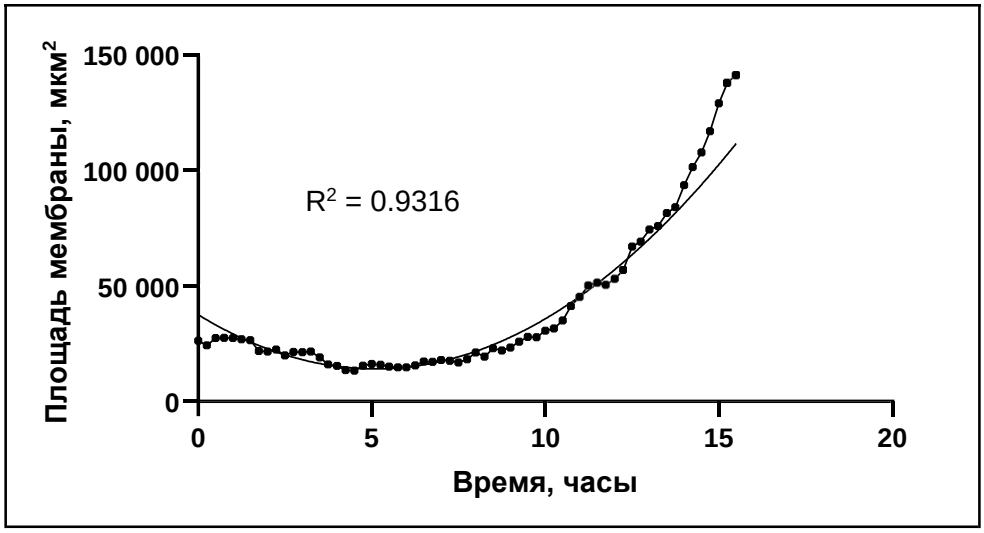


Рисунок 2. Регрессионный анализ изменения площади РМ, часы после начала наблюдения. Наблюдается степенное увеличение измеряемого параметра.

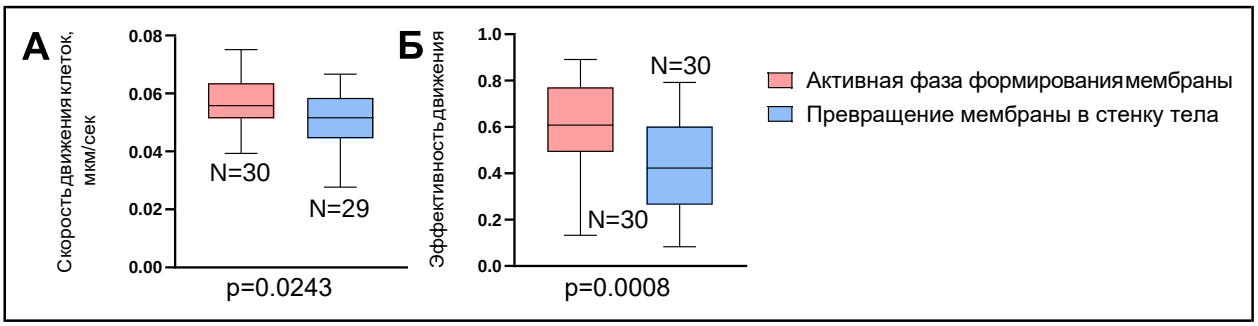


Рисунок 3. Диаграмма размаха (медиана, верхняя и нижняя квартили, минимум-максимум) скорости (А) и эффективности движения (Б) клеток мезохила в РМ в часы её активного роста и превращения в полноценную стенку тела.

В процессе формирования РМ в мезохиле происходит интенсивная миграция клеток. Основная масса клеток мезохила имеет размеры 6-8 мкм и передвигается с использованием тонких выростов, часто более длинных, чем тело клетки, называемых склероподиями (Burlando, Gaino, 1990). В основе этих выростов лежат параллельные пучки актиновых филаментов. Такие клетки можно назвать фибробластоподобными, но крупных ламеллиподий у них не наблюдается. Кроме них, детектируется некоторое количество более крупных и более мелких клеток, передвигающихся с использованием одной широкой лобоподии. В мембране также наблюдаются скопления среднего размера округлых клеток. Мы предполагаем, что это склероциты, которые соединяются и образуют внеклеточную вакуоль для синтеза элементов минерального скелета (спикул) (Ereskovsky, 2010). Наиболее

редкими являются крупные, с большим количеством гранул, клетки, у которых не наблюдается каких-либо морфологических образований, отвечающих за движение, но при этом они перемещаются. Вероятно, этому способствуют токи матрикса мезохила или другие клетки.

Значительное число клеток мезохила в процессе формирования мембраны находятся на её лидирующем крае. Возможно, они принимают участие в регенерации, однако полный спектр их функций до сих пор не описан. Средняя скорость движения клеток мезохила в активной фазе формирования мембраны (~6-24 чпо) составила 0.0568 ± 0.0089 мкм/сек (N=30). Эффективность движения была равна 0.6042 ± 0.1943 (N=30). Для клеток, мигрирующих в полностью затянутой мембране (~24-48 чпо), скорость (рис.3А) и эффективность (рис. 3Б) оказались достоверно более низкими: 0.0512 ± 0.01 мкм/сек (p=0.0243, N=29) и 0.4194 ± 0.2078 (p=0.0008, N=30). Скорость и эффективность движения клеток различной морфологии статистически не различаются.

Выводы

1. Формирование РМ имеет нелинейную кинетику временных преобразований и сопровождается изменением морфологических параметров клеток экзопинакодермы и хоанодермы. Экзопинакоциты уплощаются, а хоаноциты трансдифференцируются в эндопинакоциты, утрачивая жгутик и микроворсинки; площадь клеток увеличивается, а округлость уменьшается. Клетки мезохила не изменяются.
2. Скорость и эффективность движения клеток мезохила снижаются по мере трансформации мембраны в полноценную стенку тела.
3. В РМ наблюдается как минимум четыре морфологически различающихся типа клеток мезохила, однако статистически достоверных различий в скорости и эффективности их движения не зафиксировано.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-04-00563.

Список литературы

1. *Blanchoin L., Letort G., Ennomani H., et al.* Dynamic reorganization of the actin cytoskeleton // F1000Research,. 2015. V. 4. , № 940. - 1–11 p.
2. *Borisenko I.E., Adamska M., Tokina D.B., et al.* Transdifferentiation is a driving force of regeneration in Halisarca dujardini (Demospongiae, Porifera) // PeerJ,. 2015. V. 2015.,№ 8.e1211 p.
3. *Burlando B., Gaino E.* Cytoskeleton and mobility of Clathrina cerebrum dissociated cells. , 1990.
4. *Elliott G.R.D., Leys S.P.* Coordinated contractions effectively expel water from the aquiferous system of a freshwater sponge // J. Exp. Biol.,. 2007. V. 210. , № 21. - 3736–3748 p.
5. *Ereskovsky A. V.* The comparative embriology of sponges. , 2010. 329 c.
6. *Ereskovsky A. V., Lavrov A.I., Bolshakov F. V., et al.* Regeneration in white sea sponge leucosolenia complicata (Porifera, calcarea) // Invertebr. Zool.,. 2017. V. 41. , № 2. - 108–113 p.
7. *Lavrov A.I., Bolshakov F. V., Tokina D.B., et al.* Sewing up the wounds : The epithelial morphogenesis as a central mechanism of calcaronean sponge regeneration // J. Exp. Zool. Part B Mol. Dev. Evol.,. 2018. V. 330. , № 6–7. - 351–371 p.
8. *Leys S.P., Hill A.* The Physiology and Molecular Biology of Sponge Tissues // Advances in Marine Biology. : Academic Press, 2012. Вып. 1. С. 1–56.
9. *Leys S.P., Riesgo A.* Epithelia, an evolutionary novelty of metazoans // J. Exp. Zool. Part B Mol. Dev. Evol.,. 2012. V. 318. , № 6. - 438–447 p.
10. *Simpson T.L.* The cell biology of sponges. , 1984. 99 c.
11. *Короткова Г.П.* Регенерация И Соматический Эмбриогенез У Известковых Губок Типа Сикон // Вестник Ленинградского Университета,. 1963. V. 3. - 34–47 p.

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕЛАГИЧЕСКИХ АМФИПОД СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Осипова Дарья Дмитриевна[1]

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Введение

В большей части исследований, посвященных морскому зоопланктону, внимание уделяется в основном представителям группы веслоногих ракообразных Copepoda, поскольку эта группа является в планктоне доминирующей по численности и биомассе (Раймонт, 1988). Другие таксономические группы, и среди них представители бокоплавов Amphipoda, по сравнению с копеподами вниманием обделены. Сведений как о видовом составе, так и об экологии пелагических Amphipoda в литературе мало, и многие из них отрывочны. Тем не менее, свободноживущие бокоплавы представляют собой важный компонент планктонных сообществ. В высоких широтах представители этого отряда играют большую роль, являясь важным компонентом пищевой сети (Виноградов и др., 1982; Dalpadado et al., 2001; Noyon et al., 2009; Кособокова, 2012; Kraft, 2013; Kraft et al., 2013a). Они представляют собой ключевое звено между растительноядным зоопланктоном и более высокими трофическими уровнями.

Помимо свободноживущих пелагических, среди бокоплавов существуют также виды, ассоциированные со льдом, часто похожие на многочисленных бентосных бокоплавов, но являющиеся уникальной группой, обитающей в местах с многолетним ледовым покровом (Arndt, Swadling, 2006). Некоторые представители отряда ассоциированы с более крупными пелагическими организмами – желетелым планктоном – и являются с точки зрения одних исследователей их паразитами (Madin, Harbison, 1977; Fleming et al., 2014), а с точки зрения других – комменсалами (Виноградов и др., 1982; Dittrich, 1992).

Важная роль группы Amphipoda в структуре и функционировании планктонных сообществ и ее малая изученность, ярко свидетельствует о необходимости описания разнообразия их фауны и изучения их экологии.

Данные и методы

Материал был собран в глубоководном Арктическом бассейне с 1993 по 2016 г. в 6 комплексных экспедициях немецкого научно-исследовательского ледокола «Polarstern» и в 2005 г. в экспедиции ледокола морской береговой охраны США «Healy» (рис. 1). Во всех экспедициях послойный облов по горизонтам осуществлялся сетями Multinet Midi и Maxi с ячеей 150 мкм. В работе также были использованы несколько проб зоопланктона, собранных во время дрейфа станции «Северный Полюс-22» (СП-22) в 1975-1976 гг, где сборы осуществляли замыкающейся сетью Джеди с площадью входного отверстия 0.1 м2 и фильтрующим конусом из шелкового сита с диаметром ячеи 180 мкм.

Результаты

Видовое разнообразие

В обработанных пробах было обнаружено 1127 особей из отряда Amphipoda, принадлежащих к трем подотрядам. Среди них представители 5-ти семейств подотряда Amphilochidea, 4-х семейств подотряда Hyperiidea и 2-х семейств подотряда Senticaudata. Всего было определено 17 видов из отряда Amphipoda, среди которых самым многочисленным видом оказался *Themisto abyssorum* (842 особи). Вторым по числу обнаруженных экземпляров был *T. libellula* (94 особи), третьим – *Cyclocaris guilelmi* (60 особей). Из 17 видов 6 были встречены по одному разу. Ниже приведен список всех

обнаруженных видов. Из всех отобранных животных из-за плохого или поврежденного состояния 19 особей не удалось определить даже до рода, а 23 – до вида.

1. *Andaniexis abyssi* (Boeck, 1871)
2. *Apherusa glacialis* (Hansen, 1888)
3. *Astyra longipes* Stephensen, 1933
4. *Cyclocaris guilelmi* Chevreux, 1899
5. *Eusirogenes arctica* Tencati, 1970
6. *Eusirus holmii* Hansen, 1887
7. *Eusirus cuspidatus* Krøyer, 1845
8. *Gammarus* sp.
9. *Hyperia* sp.
10. *Lanceola clausii* Bovallius, 1885
11. *Mimonectes sphaericus* Bovallius, 1885
12. *Onisimus glacialis* (G.O. Sars, 1900)
13. *Onisimus nanseni* (G.O. Sars, 1900)
14. *Rhachotropis* sp.
15. *Scina pusilla* Chevreux, 1919
16. *Themisto abyssorum* (Boeck, 1871)
17. *Themisto libellula* (Lichtenstein in Mandt, 1822)

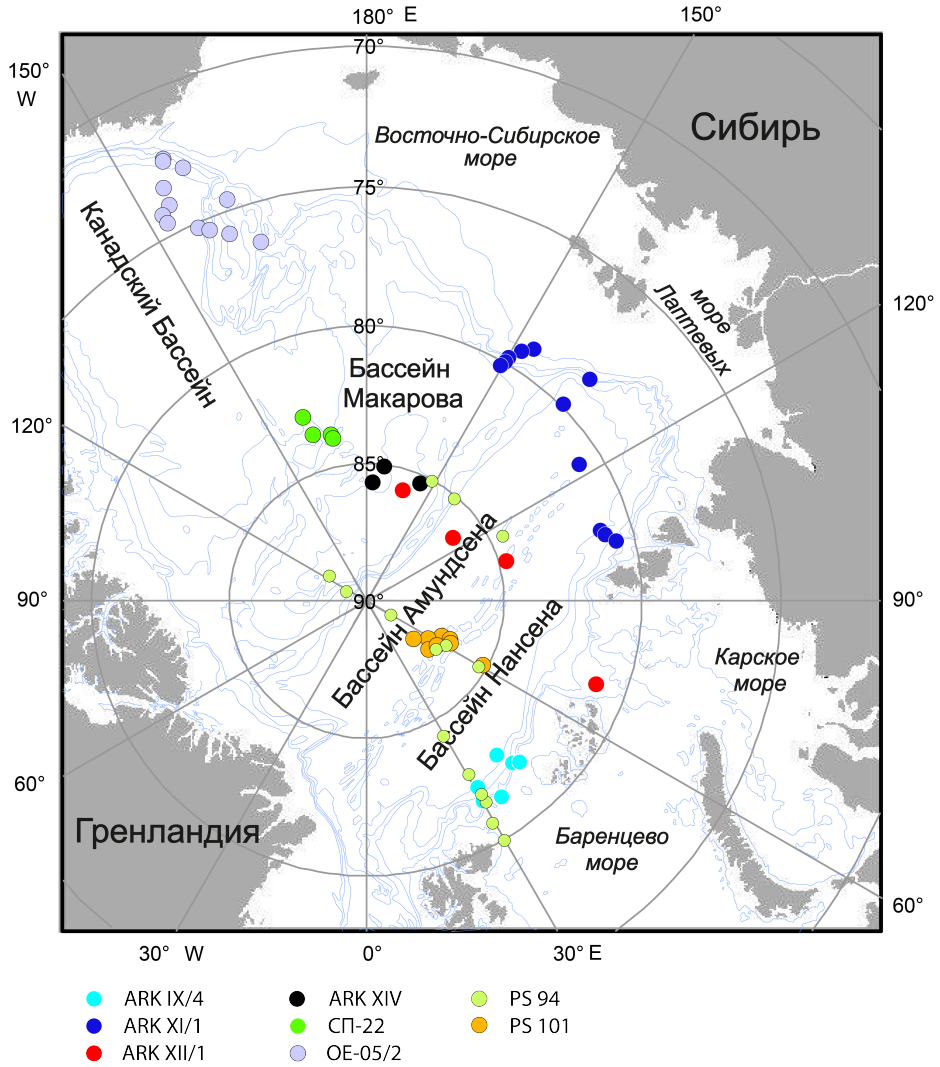


Рисунок 1. Положение планктонных станций, материалы с которых использованы в работе.

В Евразийском бассейне было исследовано 542 особи (48,1%) Amphipoda, а в Канадском – 585 особей (51,9%). В Евразийском бассейне встретились 14 из 17 обнаруженных видов. В Канадском бассейне число обнаруженных видов составило 10. Виды, встретившиеся только в Канадском бассейне: *Eusirogenes arctica, Mimonectes sphaericus* и *Rhachotropis* sp. Виды, встретившиеся только в Евразийском бассейне: *Apherusa glacialis, Astyra longipes, Eusirus cuspidatus, Hyperia* sp., *Onisimus glacialis, Onisimus nanseni* и *Gammarus* sp.

Размерная характеристика

Среди видов, представленных более чем 1 особью, наибольшим разбросом размеров обладал *T. libellula* – от 1.5 до 35 мм. Широкий диапазон размеров был также характерен для для еще трех видов: *E. holmii* (от 1.5 до 30 мм), *C. guilelmi* (от 2 до 21 мм) и *T. abyssorum* (от 1.5 до 18 мм). Наиболее крупными средними размерами характеризовались представители видов *E. holmii* (средняя длина тела 14,8 мм), *A. glacialis* (10,7 мм) и *T. libellula* (10,6 мм).

Данные о размерном составе популяций нескольких зарегистрированных в нашем районе исследования видов позволяют сделать заключение о возможности их размножения в Арктическом бассейне. Среди них 4 вида– *Themisto abyssorum*, *T. libellula*, *Cyclocaris guilelmi* и *L. clausii.*

Вертикальное распределение

Разные виды амфипод были обнаружены на разных глубинах и имели различающиеся вертикальные диапазоны. Среди наиболее массовых видов представители рода *Themisto* достигали наибольшей численности в эпипелагиали (1255±405 экз./10^3×м^3 и 93 экз./10^3×м^3 соответственно), в то время как *C. guilelmi* – в мезопелагиали (12±2 экз./10^3×м^3). Одиннадцать видов из 17-ти не были встречены в эпипелагиали. Начиная с глубины 100 метров встречался вид *L. clausii*, за ним *S. pusilla*, а уже с 200 метров – *C. guilelmi*. Виды *A. abyssi, E. cuspidatus, A. glacialis* и *M. sphaericus* встречались только на глубинах более 500 м, а *A. longipes, E. arctica* и *Rhachotropis* sp. – только глубже 1000 м. Три последних вида были встречены единично. *Onisimus glacialis* встречался исключительно в верхних 100 метрах, в то время как другой представитель рода – *O. nanseni* - был обнаружен на глубинах вплоть до 2500 метров. Таким образом, из всех обнаруженных видов исключительно эпипелагическими являются 6, эпи- и мезопелагическими – 2 вида, мезопелагическими – 5 видов, мезо- и батипелагическими – 2 вида, батипелагическими – 2 вида.

Оба вида рода *Themisto* совершают онтогенетические вертикальные миграции – ювенильные стадии у них заселяют меньшие глубины, чем взрослые особи. В то же время, *Cyclocaris guilelmi*, по полученным данным, таких миграций не совершает, и особи разных размерных классов равномерно распределены во всем диапазоне заселяемых этим видом глубин.

Сравнение фауны Евразийского и Канадского бассейнов Северного Ледовитого океана

Полученные результаты показывают, что фауна амфипод Евразийского и Канадского бассейнов Северного Ледовитого океана сходна. Тем не менее, в структуре популяций массового вида *T. abyssorum* существуют географические различия. В Евразийском бассейне его средняя численность была наибольшей у самой поверхности – в слое 0-25 метров. В Канадской котловине максимум его численности наблюдался чуть глубже, в слое 25-50 метров. Численность вида на средних глубинах (200-500 м) в Евразийском бассейне была выше, чем в Канадском. При сравнении размеров особей оказалось, что животные в Евразийском бассейне в среднем имеют большие размеры, чем в Канадском. Это особенно хорошо заметно на глубинах более 100 метров, где обитают не ювенильные, а уже взрослые особи. *T. abyssorum* является хорошим индикатором атлантических вод (Виноградов и др., 1982; Koszteyn et al., 1995; Dalpadado, 2002; Kraft, 2013; Dalpadado et al., 2016) и подобные результаты, вероятно, связаны с тем, что Евразийский бассейн в большей степени подвержен влиянию вод Атлантического океана.

Список литературы

1. *Виноградов М.Е., Волков А.Ф., Семёнова Т.Н.* Амфиподы-гипериидыМирового океана. Л: Наука, 1982. 492 с.

2. *Кособокова К.Н.* Зоопланктон Арктического бассейна. Структура сообществ, экология, закономерности распределения / под ред. Н.А. Заренкова. М: ГЕОС, 2012. 272 с.

3. *Раймонт Д.* Планктон и продуктивность океана: [В 2 т.] Т. 2: Зоопланктон / под ред. К.Н. Незлин. М: Агропромиздат, 1988. 354 с. 11.

4. *Arndt C.E., Swadling K.M.* Crustacea in Arctic and Antarctic Sea Ice: Distribution, Diet and Life History Strategies // Adv. Mar. Biol. 2006. T. 51. P. 197–315.

5. *Dalpadado P.* Inter-specific variations in distribution, abundance and possible life-cycle patterns of *Themisto* spp. (Amphipoda) in the Barents Sea // Polar Biol. 2002. V. 25. № 9. P. 656–666.

6. *Dalpadado P., Borkner N., Bogstad B., Mehl S.* Distribution of *Themisto* (Amphipoda) spp. in the Barents Sea and predator-prey interactions // ICES J. Mar. Sci. 2001. V. 58. № 4. P. 876–895.

7. *Dalpadado P., Hop H., Rønning J., Pavlov V., Sperfeld E., Buchholz F., Rey A., Wold A.* Distribution and abundance of euphausiids and pelagic amphipods in Kongsfjorden, Isfjorden and Rijpfjorden (Svalbard) and changes in their relative importance as key prey in a warming marine ecosystem // Polar Biol. 2016. V. 39. № 10. P. 1765–1784.

8. *Dittrich B.U.* Functional morphology of the mouthparts and feeding strategies of the parasitic amphipod *Hyperia galba* (Montagu, 1813) // Sarsia. 1992. V. 77. № 1. P. 11–18.

9. *Fleming N.E.C., Harrod C., Griffin D.C., Newton J., Houghton J.D.R.* Scyphozoan jellyfish provide short-term reproductive habitat for hyperiid amphipods in a temperate near-shore environment // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2014. V. 510. P. 229–240.

10. *Koszteyn J., Timofeev S., Węsławski J.M., Malinga B.* Size structure of *Themisto abyssorum* Boeck and *Themisto libellula* (Mandt) populations in European Arctic seas // Polar Biol. 1995.

11. *Kraft A.* Arctic pelagic amphipods - community patterns and life-cycle history in a warming Arctic Ocean // PhD Thesis. 2013.

12. *Kraft A., Berge J., Varpe Ø., Falk-Petersen S.* Feeding in Arctic darkness: Mid-winter diet of the pelagic amphipods *Themisto abyssorum* and *T. libellula* // Mar. Biol. 2013a. V. 160. № 1. P. 241–248.

13. *Madin L.P., Harbison G.R.* The associations of Amphipoda Hyperiidea with gelatinous zooplankton-I. Associations with Salpidae // Deep. Res. 1977. V. 24. № 5. P. 449–463.

14. *Noyon M., Gasparini S., Mayzaud P.* Feeding of *Themisto libellula* (Amphipoda Crustacea) on natural copepods assemblages in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard) // Polar Biol. 2009. V. 32. № 11. P. 1559–1570.

ТОНКОЕ СТРОЕНИЕ ХОБОТА САМОК BONELLIA VIRIRDIS (ECHIURA)

Кузнецов Пётр Алексеевич, Темерева Елена Николаевна
МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

Эхиуриды – небольшая группа вторично несегментированных морских бентосных червей. Поселяясь глубоко в толще субстрата, большинство эхиурид выставляют на поверхность грунта только хобот (Gislen, 1940). Из-за такого скрытного образа жизни эхиуриды редко попадают в руки исследователей. Морфо-функциональный анализ строения хобота позволит лучше понять биологию этих скрытых животных и пролить свет на функционирование донных сообществ, в которых они доминируют. Материалом для настоящей работы послужили самки *Bonellia viridis* собранные в Марсельском заливе у острова План. Материал был изучен с использованием методов гистологической техники, световой, сканирующей электронной и трансмиссионной электронной микроскопии.

Тело *B. viridis* разделено на мешковидное туловище и хобот. Хобот – длинный дорсовентрально уплощенный вырост передней части тела, который используется для сбора пищи вокруг норы и состоит из длинного ствола с двумя лопастями на конце. К грунту обращена дорсальная сторона хобота *B. viridis*. Реснички сконцентрированы на вентральной стороне хобота, и значительно реже встречаются на дорсальной стороне. Считается, что реснички хобота играют ключевую роль в перемещении пищевых частиц по поверхности хобота ко рту (Pilger, 1993). Для большинства видов не описано каких-либо структур, которые могли бы принимать участие в тонкой сегрегации пищевых частиц. Однако для некоторых эхиурид ранее уже были описаны структуры, которые могут принимать участие в отборе пищевых частиц. Так, например у для *Protobonellia zenkevitchi* были описаны желобки на хоботе способствующие, вероятно, сегрегации пищевых частиц по размеру (Temereva et al., 2017). На поверхности хобота *B. viridis* выраженные ресничные желобки отсутствуют.

Строение хобота *B. viridis* однородно по всей его длине. Хобот покрыт однослойным эпителием, под которым располагается соединительная ткань, пронизанная многочисленными мышечными клетками. Вдоль латеральных сторон хобота проходят целомические каналы, содержащие латеральные кровеносные сосуды. Дорсальнее от целомических каналов располагается латеральные нервные стволы. В центральной части хобота проходит аксиальный кровеносный сосуд.

На поперечном срезе хобота можно выделить четыре зоны, которые различаются по строению и выполняемым функциям: дорсальная, вентральная и две латеральных. Эпителий вентральной стороны образован ресничными и железистыми клетками нескольких типов. Апикальная поверхность клеток несет реснички и многочисленные ветвящиеся микроворсинки, между которыми различимо рыхлое вещество протокутикулы. Цитоплазма апикальный частей клеток заполнена многочисленными везикулами, формирование которых, вероятно, происходит в ходе эндоцитоза. Интересной особенностью эпителиальных клеток является наличие в них митохондрий двух разных типов: митохондрии с электронно- плотным матриксом и расширенными кристами и митохондрии с матриксом средней электронной плотности и узкими кристами. Между эпителиальными клетками располагаются железистые клетки двух типов: с крупными везикулами с

электронно- прозрачным содержимым и с цитоплазмой заполненной вытянутыми электронно-плотными гранулами. В составе дорсального эпителия хобота впервые описаны ресничные клетки. Дорсальный эпителий так же содержит железистые клетки двух типом, однако их обилие гораздо ниже, чем с вентральной стороны. Клетки вентрального и дорсального эпителия не подостланы базальной пластинкой. Вероятно отсутствие выраженной базальной пластинки связано с высокой клеточной подвижностью.

Неклеточное вещество соединительной ткани хобота образовано тонкими коллагеновыми волокнами и рыхлым неклеточным материалом. Вся соединительная ткань хобота пронизана мышечными волокнами. В соединительной ткани хобота обнаруживаются отдельные секреторные клетки, нервные волокна и перикарии, наиболее многочисленные с вентральной стороны хобота. Впервые показано, что нервные тракты вплотную подходят к железистым клеткам эпителия и, вероятно, иннервируют их.

Впервые гистохимическими методами в составе дорсального эпителия хобота выявлены железистые клетки, содержащие кислые мукополисахариды. Вероятно, дорсальная сторона хобота выполняет защитную и локомотоную функцию, вентральная, покрытая многочисленными ресничками, – функцию транспорта пищевых частиц, а секрет крупных желез, расположенных вдоль латеральных краев хобота, возможно, используется и для механической защиты. Мелкие частицы могут прилипать к секрету и перемещаться вместе с ним с помощью биения ресничек. Мышечные клетки образуют кольцевую, продольную и дорсовентральную мускулатуру хобота.

Впервые детально описано тонкое строение аксиального сосуда хобота и доказана его клеточная, а не синцитиальная, как считалось ранее, природа. Аксиальный кровеносный сосуд образован клетками, которые формируют отростки, направленные и в просвет сосуда и соединенные друг с другом протяженными септированными контактами. В средней части клеток проходят миофиламенты, ориентированные как в продольном, так и в кольцевом направлении.

Впервые детально изучено тонкое строение летательных нервных стволов хобота *B. viridis*. Нервные стволы хобота окружены внеклеточным матриксом соединительной ткани хобота. По особенностям ультраструктурной организации в составе латеральных стволов хобота можно выделить нейроны 3-х типов, различающихся размерами сомы и ядра, ядерно-цитоплазматическим соотношением, строением ядра и характером синаптических пузырьков. Впервые в составе нервных стволов описаны глиальные клетки, цитоплазма которых заполнена промежуточными электронно-плотными филаментами. От латеральных нервных стволов хобота отходят периферические нервы, которые проходят в толщи соединительной ткани.

Выявленные особенности организации хобота *B. viridis* отражают специфику биологии вида и способствуют расширению наших знаний об этих загадочных существах. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 20-04-00096).

Литература

Gislen, T., 1940. Investigations on the ecology of Echiurus. Lunds Univ. Arsskr., new ser. 36, 1-39.

Pilger, J.F., 1993. Echiura. Microscopic Anatomy of Invertebrates. New York, Wiley-Liss Inc.12, 185–236.

Temereva, E.N., Kuznetsov, P.A., Kiseleva, E.A., 2017. The morphology and microscopic anatomy of the deep-sea echiurid *Protobonellia zenkevitchi* Murina 1976. Rus J. Mar. Biol. 43(6), 453–470.

ГИБРИДИЗАЦИЯ И ВИДОВОЙ СТАТУС ГИДРОИДНЫХ *SARSIA* В БЕЛОМ МОРЕ.

Прудковский Андрей Андреевич, Батрина Дарья Александровна, Неретина Татьяна Владимировна

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Введение

Гидроидные рода *Sarsia* Lesson, 1843 (Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Corynidae) широко распространены в северном полушарии (Schuchert, 2001). Их идентификация сложна по причине большого морфологического сходства разных видов. Определение видового статуса особенно затруднено при наличии гибридизации между морфотипами (Brinckmann-Voss, 2002). Типичный жизненный цикл у гидроидных данного рода включает медузоидную и полипоидную стадии. Свободно плавающие медузы отпочковываются от донных колоний, растут и формируют гонады. Зрелые медузы нерестятся. После оплодотворения образуется личинка-планула, которая оседает на донные субстраты. Тем не менее, редукция медузоидной стадии известна для *S. lovenii* (Schuchert, 2001). У данного вида полипы продуцируют редуцированные медузоидные особи, медузоиды. Медузоиды формируют гонады, не отрываясь от материнской колонии. Они лишены глазков и щупалец. Недавно было обнаружено, что в Белом море вид *S. lovenii* имеет два морфотипа: некоторые колонии продуцируют свободно плавающих медуз, а другие прикреплённых медузоидов (Prudkovsky et al., 2019). Изученные медузы и медузоиды относятся к разным генетическим гаплогруппам, однако генетические дистанции между этими гаплогруппами минимальные и соответствуют уровню внутривидовой изменчивости. Полученные результаты позволили интерпретировать генетический и фенотипический полиморфизм у гидроидных *S. lovenii* в Белом море как случай незаконченного видообразования.

Целью данной работы было изучить более детально возможность гибридизации между разными видами или морфотипами рода *Sarsia* в Белом море.

Материал и методы

Мы исследовали гибридизацию между разными морфотипами рода *Sarsia* в акватории беломорской биостанции имени Н.А. Перцова (ББС МГУ), используя метод экспериментального скрещивания и анализ образцов из моря. Точная идентификация полученных культур и собранных образцов была проведена молекулярно-филогенетическим методом с использованием ранее разработанной методики (Prudkovsky et al., 2019).

Результаты и обсуждение

Гибридизация разных морфотипов Sarsia в эксперименте. Всего в 2019-2020 гг было проведено около 30 экспериментов по гибридизации гидроидных рода *Sarsia* (Табл. 1). В большинстве случаев скрещивание было успешным. Для контроля успешности скрещивания мы проводили наблюдения на всех этапах эксперимента. После нереста медуз яйца оседали на дно экспериментальной ёмкости. При нересте медузоидов яйца формировали небольшие группы недалеко от материнских гонофоров. Яйца у разных морфотипов внешне не отличались. После оплодотворения яйца прикреплялись к субстрату. Раннее развитие вплоть до стадии планулы проходило под защитой студенистой оболочки. Сформированная планула начинала активно двигаться, выходила из защитной оболочки и переходила к плаванию в

толще воды. После оседания планулы формировался первичный полип, от которого начинала расти новая колония.

Таблица 1. Количество экспериментов для каждого типа скрещивания. *Гибрид первого поколения при скрещивании медуз и медузоидов *Sarsia lovenii*

Тип скрещивания	Число проведённых экспериментов
S. lovenii медуза самка x *S. lovenii* медузоид самец	9
S. lovenii медуза самец x *S. lovenii* медузоид самка	11
S. lovenii медуза самка x *S. tubulosa* самец	1
S. lovenii медуза самец x *S. tubulosa* самка	1
S. lovenii медузоид самец x *S. tubulosa* самка	1
S. lovenii медузоид самка x *S. tubulosa* самец	3
*Гибрид самец x *S. lovenii* медуза самка	1
*Гибрид самка x *S. lovenii* медузоид самец	1
*Гибрид самка x гибрид самец	1

Было получено 18 экспериментальных культур в результате скрещивания разных морфотипов *S. lovenii*, включая гибриды между самками медуз и самцами медузоидами, а также гибриды между самцами медузами и самками медузоидами. Ещё две культуры было получено в результате межвидового скрещивания между разными морфотипами *S. lovenii* и *S. tubulosa*. Для этого были использованы самки *S. lovenii* и самцы *S. tubulosa*. Скрещивание между самками *S. tubulosa* и самцами *S. lovenii* не было успешным. Однако контрольных экспериментов для определения зрелости половых продуктов у используемых особей проведено не было. Впоследствии экспериментальные культуры были идентифицированы молекулярно-филогенетическими методами по ранее разработанной методике (Prudkovsky et al., 2019). Гидроидов длительно культивировали вплоть до появления гонофоров. После длительного культивирования экспериментальных колоний был поставлен эксперимент по скрещиванию гибридов *S. lovenii* первого поколения с медузами и медузоидами этого вида, а также с другими гибридами первого поколения. Оплодотворение, дробление и формирование личинки планулы в этих экспериментах было успешным. Первичные полипы чаще всего были слишком маленькие и оказались не способны к питанию и дальнейшему росту. Возможно, это было следствием недостаточно полноценного питания колоний в эксперименте. Однако в некоторых случаях они всё же сформировали новые колонии гибридов второго поколения. Таким образом, нами доказана потенциальная возможность как внутривидовой гибридизации между разными морфотипами *S. lo*venii, так межвидовой гибридизации между *S. lovenii* и *S.tubulosa* в Белом море.

Частота гибридизации в море. Для оценки частоты гибридизации в море методами молекулярной филогении было проанализировано 72 образца гидроидных *Sarsia*, собранных в акватории биостанции (29 медуз и 43 гидроидных колонии). Из них было идентифицировано 12 медуз и 1 колония *S. tubulosa*, 1 медуза *S. princeps*, 16 медуз *S. lovenii* и 11 колоний из данной гаплогруппы, 28 колоний *S. lovenii* из гаплогруппы, которая продуцирует медузоидов, а также 3 гибридные колонии *S. lovenii* (результат гибридизации между самками-медузоидами и самцами-медузами). Разные локации отличались по составу генетических вариантов полипоидных колоний. Так при сборах с берега в кутовой части Ругозерской губы были обнаружены колонии преимущественно медузной гаплогруппы *S. lovenii*. Колонии данной гаплогруппы были также найдены при сборах на глубине около 10 м. В более мористой части Ругозерской губы (Еремеевский порог) преобладали

преимущественно медузоидные морфотипы *S. lovenii*. В соседней губе (губа Кислая) были обнаружены колонии из медузоидной гаплогруппы, а также гибридные колонии. Однако в соответствии с многолетними нерегулярными наблюдениями можно предположить, что поселения гидроидов в изученных локациях – временные, и в разные годы в их составе могут преобладать различные генетические варианты.

Возможные причины ограничения гибридизации Sarsia в Белом море. В Белом море отмечено 3 вида данного рода: *S. lovenii, S. tubulosa* и *S.princeps*. Однако только первые два вида встречались достаточно массово. В природе гибридизация может быть ограничена локальными различиями местообитания гидроидов или различиями во времени нереста (Prudkovsky et al., 2019). Местообитание колоний *S. tubulosa* пока изучено недостаточно. Нами была обнаружена только одна колония данного вида, которая обитала в прибрежной зоне. На основании наблюдений, а также при исследовании собранных образцов было обнаружено, что гидроиды разных морфотипов *S. lovenii* могут образовывать изолированные или смешанные донные поселения. Медузы *S. lovenii* нерестятся в пелагиали и яйца широко рассеиваются по донным субстратам в акватории. При нересте медузоидов *S. lovenii* яйца остаются в том же биотопе, в котором обитают родительские колонии. Таким образом, нерест медуз и медузоидов происходит в разных биотопах, что снижает вероятность их гибридизации. По-видимому нерест различных морфотипов *S. lovenii*, а также медуз *S. tubulosa* происходит преимущественно в разное время года, однако может пересекаться в отдельные годы. Согласно нашим наблюдениям нерест медуз *S. lovenii* в Белом море происходит в первой половине июня, однако в отдельные годы растягивается вплоть до конца июня. Нерест медузоидов *S. lovenii* происходит во второй половине июня, однако в некоторые годы продолжается и в июле. Нерест медуз *S. tubulosa* происходит обычно в июле, хотя может начинаться уже в конце июня. У данного вида, возможно, есть вторая генерация медуз, которые появляются в конце лета или в начале осени.

Заключение

Таким образом, в Белом море массово встречается вид *Sarsia tubulosa* и два морфотипа вида *Sarsia lovenii*. Мы предполагаем, что разные морфотипы *S. lovenii* и вид *S. tubulosa* могут гибридизоваться в Белом море, однако с разной вероятностью. С наибольшей вероятностью происходит гибридизация между разными морфотипами *S. lovenii*. Такой вывод подтверждается обнаруженными в море гибридами. Полученные результаты подчёркивают важность комплексного подхода для анализа биоразнообразия.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 18-04-01352 и 18-05-60158).

Список литературы

Brinckmann-Voss A. Reproductive barriers and early development from hybridization experiments in two sympatric species of the genus *Sarsia* (Cnidaria, Hydrozoa, Anthoathecatae, Corynidae) // Vie milieu – 2002 – Vol. 52 – P. 121–130.

Prudkovsky A.A., Ekimova I.A., Neretina T.V. A case of nascent speciation: unique polymorphism of gonophores within hydrozoan *Sarsia lovenii* // Scientific reports – 2019 – 9 – 15567. https://doi.org/10.1038/s41598-019-52026-7

Schuchert P. Survey of the family Corynidae (Cnidaria, Hydrozoa). Rev. suisse Zool. –2001 – Vol. 108 – P. 739–878, https://doi.org/10.5962/bhl.part.80165

АНАЛИЗ МИКРОБИОМОВ КОЛЬЧАТЫХ ЧЕРВЕЙ СЕМЕЙСТВ TRICHOBRANCHIDAE И ORBINIIDAE КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Щербакова Полина Александровна[1], Гавирова Лилия Андреевна[1], Попова Александра Антоновна[2], Ельченинов Александр Геннадиевич[2], Шестаков Андрей Иннокентьевич[1], Кубланов Илья Валерьевич[2]

[1] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*
[2] *ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, г. Москва*

Введение

Кольчатые черви (тип Annelida) – важный компонент шельфовых экосистем, в том числе и в арктических морях. Они являются звеном пищевых сетей и кормовой базой для промысловых видов рыб. Кроме того, черви активно участвуют в процессе биотурбации грунта и способны менять рельеф дна. Широко известно, что в жизнедеятельности макроорганизмов значительную роль играют микроорганизмы, представители микробных сообществ хозяев. Они могут участвовать в питании, адаптации к новым условиям обитания и защите от хищников и патогенов. Однако на сегодняшний день крайне мало данных о микроорганизмах, ассоциированных с морскими червями, в частности, нет информации о представителях микробных сообществ кольчатых червей семейств Trichobranchidae и Orbiniidae и их функциях в жизнедеятельности макроорганизмов. Данное исследование позволит выявить доминирующие группы микроорганизмов в составе микробиомов кольчатых червей исследуемых семейств, а также определить наличие уникальных представителей, характерных только для микробных сообществ червей и не обнаруженных в образцах окружающей среды.

Материалы и методы

Сбор образцов для исследования проводили летом 2019 года в акватории Кандалакшского залива Белого моря вблизи Беломорской Биологической Станции им. Н. А. Перцова Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Для исследования отбирали червей типа Annelida из семейств Trichobranchidae (*Terebellides stroemi*) и Orbiniidae (*Scoloplos armiger*) и пробы окружающей среды.

В одной локации проводили траление с участка дна и отбор с помощью пробоотборника HAPS corer (Denmark). С помощью траления были получены образцы грунта (без разделения на глубины отбора) и червей – роющих грунтоедов *Scoloplos armiger*, малоподвижных грунтоедов в трубках *Terebellides stroemi*. Использование HAPS corer позволило получить пробы придонного слоя воды, а также донных осадков на глубине 0-2 и 15 см. Во второй локации отбор производили легководолазным методом. При обнаружении на поверхности донных осадков щупалец червя или следов от них проводили точечный сбор обнаруженных червей, а также грунта возле них (с глубины 0-2 и 15 см) и проб придонного слоя воды. Для последующей обработки образцов все пробы воды были профильтрованы через мембранный фильтр с диаметром пор 0,22 мкм для концентрации клеток микроорганизмов.

Все отобранные образцы были разделены на несколько типов: целые черви, трубки, кишечники и щупальца червей, а также образцы окружающей среды – пробы придонного слоя воды и донных осадков (с глубины 0-2 и с 15 см) в месте отбора червей (Таблица 1). Из образцов была выделена тотальная ДНК, с которой путем полимеразной цепной реакции

были синтезированы ампликоны V4 участка гена 16S рРНК. Данные, полученные после секвенирования библиотек гена 16S рРНК на платформе Illumina MiSeq, были загружены в базу Silva для анализа относительной представленности таксонов микроорганизмов в исследуемых пробах.

Таблица 1. Типы образцов, отобранные для изучения микробных сообществ

№	**Образец**	**Тип образца**
1	Червь *Scoloplos armiger*	Целый червь – роющий грунтоед
2	Червь *Scoloplos armiger*	Целый червь – роющий грунтоед
3	Червь *Terebellides stroemi*	Целый червь – грунтоед в трубке
4	Червь *Terebellides stroemi*	Целый червь – грунтоед в трубке
5	Червь *Terebellides stroemi*	Целый червь – грунтоед в трубке
6	Трубка *Terebellides stroemi*	Трубка червя
7	Трубка *Terebellides stroemi*	Трубка червя
8	Трубка *Terebellides stroemi*	Трубка червя
9	Щупальца *Terebellides stroemi*	Щупальца червя
10	Щупальца *Terebellides stroemi*	Щупальца червя
11	Кишечник *Terebellides stroemi*	Кишечник червя
12	Кишечник *Terebellides stroemi*	Кишечник червя
13	Донные осадки (0-2 см) рядом с *T. stroemi*	Донные осадки
14	Донные осадки (15 см) рядом с *T. stroemi*	Донные осадки
15	Донные осадки (0-2 см) рядом с *T. stroemi*	Донные осадки
16	Донные осадки (15 см) рядом с *T. stroemi*	Донные осадки
17	Донные осадки, отобранные при тралении	Донные осадки
18	Донные осадки (0-2 см), отобранные HAPS corer	Донные осадки
19	Донные осадки (15 см), отобранные HAPS corer	Донные осадки
20	Вода, отобранная водолазами	Придонный слой воды
21	Вода, отобранная HAPS corer	Придонный слой воды

Результаты

В результате филогенетического анализа полученных данных удалось определить доминирующие группы микроорганизмов в исследуемых образцах (Рисунок 1). Как видно из Рисунка 1, в большинстве образцов преобладающей группой микроорганизмов являются представители филума *Proteobacteria*.

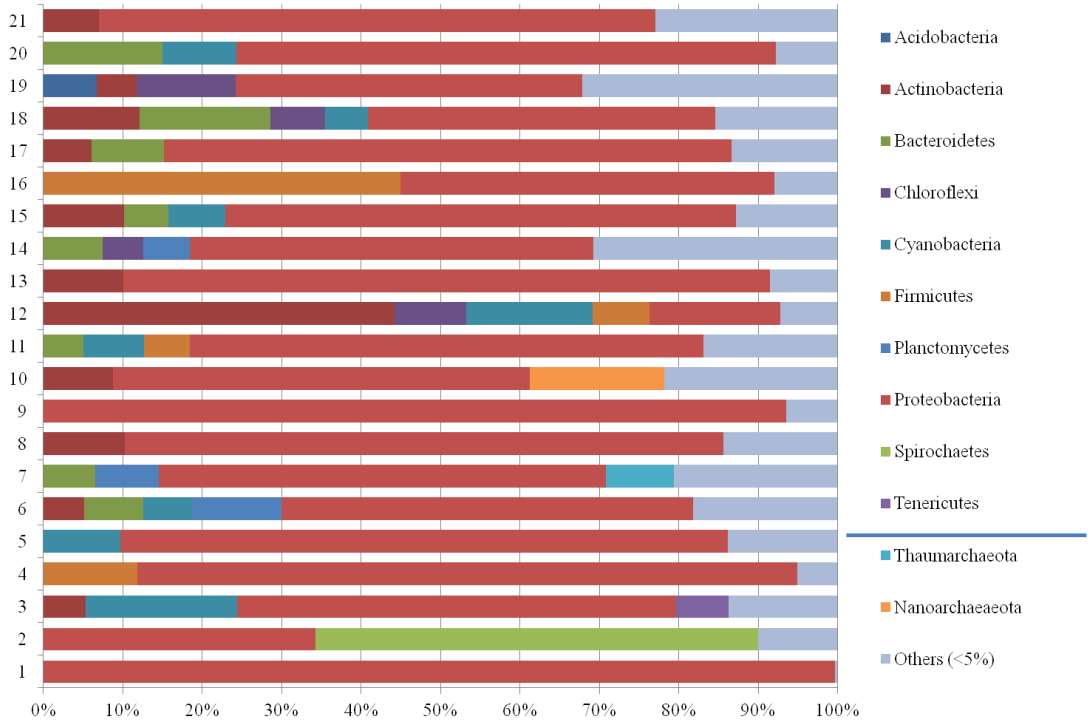


Рис. 1. Доминирующие филумы микроорганизмов в составе микробных сообществ исследуемых образцов червей типа Annelida и проб окружающей среды.

При анализе образцов донных осадков было выявлено значительное снижение количества актинобактерий в пробах, отобранных с большей глубины (15 см по сравнению с поверхностными пробами с глубины 0-2 см), а в микробных сообществах из образцов червей *Terebellides stroemi* данный филум представлен в количестве более 5% в пяти образцах исследованных червей (образцы 3,6,8,10,12).

В составе микробного сообщества одного из червей *Scoloplos armiger* были обнаружены представители глубокой ветви внутри филума *Spirochaetes* (Рисунок 2), родство которых с ближайшими некультивируемыми родственниками составляет менее 93%. Кроме того, в образцах щупалец и кишечника двух червей *Terebellides stroemi* были обнаружены представители архей, в том числе архейного суперфилума DPANN (*Diapherotrites, Parvarchaeota, Aenigmarchaeota, Nanoarchaeota, Nanohaloarchaeota*).

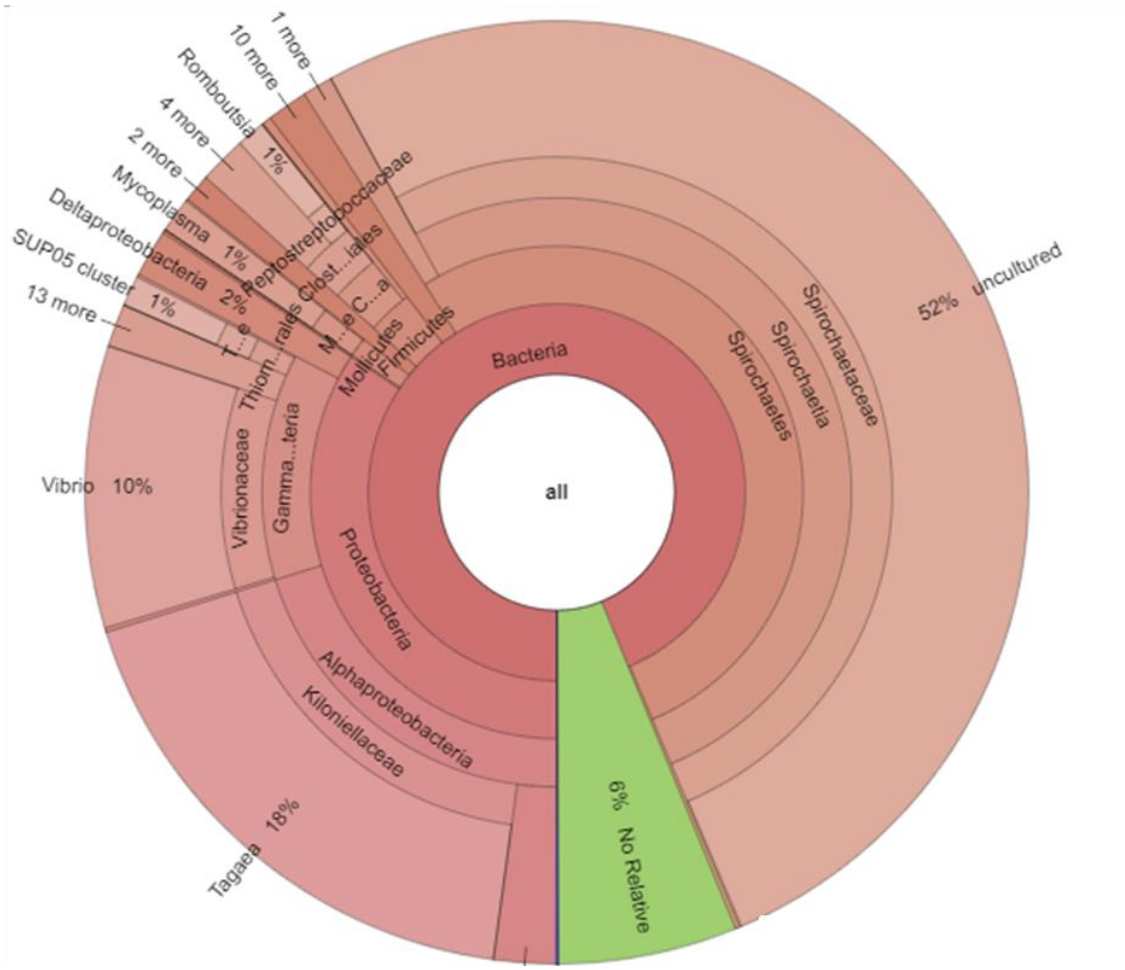


Рис. 2. Доминирующие филумы микроорганизмов в микробном сообществе червя *Scoloplos armiger* (образец 2).

Также в составе микробных сообществ исследуемых образцов были обнаружены рода, представители которых являются типичными симбионтами морских организмов *Vibrio, Photobacterium, Pseudoalteromonas* и другие.

Заключение

Состав микробных сообществ образцов разных типов (живые организмы и пробы окружающей среды) различен по спектру доминирующих микроорганизмов. Для представителей многих из доминирующих в образцах групп микроорганизмов характерно наличие симбиотических связей с макроорганизмами – растениями, рыбами и другими животными. Среди прокариот, доминирующих в микробиомах червей семейств Trichobranchidae и Orbiniidae, обнаружены глубокие ветви бактерий и архей. Глубокая ветвь внутри филума *Spirochaetes* обнаружена в образце грунтоеда *Scoloplos armiger*; а в щупальцах *Terebellides stroemi* найдены представители архейного суперфилума DPANN (*Diapherotrites, Parvarchaeota, Aenigmarchaeota, Nanoarchaeota, Nanohaloarchaeota*), все известные представители которого являются симбионтами.

Полученные данные подтверждают гипотезу о различии состава микробных сообществ образцов кольчатых червей исследуемых семейств и проб окружающей среды, однако для окончательных выводов необходимо проанализировать большее количество образцов.

Работа поддержана грантом РФФИ 20-04-01010 А.

ОСОБЕННОСТИ ИНДУКЦИИ СТРОБИЛЯЦИИ AURELIA (SCYPHOZOA) В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Сухопутова Алёна Валентиновна, Краус Юлия Александровна

МГУ имени М.В.Ломоносова/Москва; Институт биологии развития РАН/Москва

В последние годы всё больше исследователей интересуется проблемой локальных вспышек численности медуз класса Scyphozoa в водах мирового океана (jellyfish blooms). Это явление оказывает значительное влияние на экологию. Из-за недостатка данных предсказать подобные вспышки пока не удается.

В жизненном цикле Scyphozoa есть стадии сидячего полипа и свободноплавающей медузы. Формирование медуз происходит путем бесполого размножения полипов – стробиляции. Во многих исследованиях показано, что снижение температуры содержания индуцирует стробиляцию в роду *Aurelia* в лабораторных условиях, однако конкретные температуры содержания и температуры индукции стробиляции везде разные. Мы провели эксперименты, показавшие, что различия в результатах разных лабораторий могут быть обусловлены не только разным происхождением культур полипов, но и разными долговременными условиями их содержания. Чувствительность полипов к одному и тому же изменению температуры зависит от того, при каких температурах они содержались задолго до постановки эксперимента. Относительно высокие температуры содержания снижают чувствительность полипов к изменению температуры окружающей среды. По сравнению с полипами, содержавшимися при низких температурах, им требуется б*о*льшая разница температур и продолжительность инкубации для начала стробиляции.

При исследовании стробиляции, авторы всё чаще для её индукции используют 5-метокси-2- метилиндол. Это вещество является химическим аналогом одного из компонентов биохимического каскада, регулирующего стробиляцию в природе. Однако до сих пор не было доказано, что стробиляция при его использовании проходит без аномалий. В нашей работе были показаны различия в динамике стробиляции и морфологии стробил при индукции стробиляции снижением температуры и при её индукции 5-метокси-2-метилиндолом. Наиболее значительные различия обнаружились в эффективности методов индукции стробиляции, а также в морфологии процессов, связанных с восстановлением полипа по завершении стробиляции.

Результаты этого исследования стоит учитывать при работе с лабораторными культурами сцифополипов.

О ЩУПАЛЬЦАХ ВНУТРИПОРОШИЦЕВЫХ

Борисанова Анастасия Олеговна [1]

[1]*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

Внутрипорошицевые (Entoprocta, Kamptozoa) – это тип микроскопических морских (за исключением двух видов) беспозвоночных, все представители которого имеют фильтрационный тип питания. Фильтрационный аппарат представлен венчиком ресничных щупалец, расположенных по периферии чашечки, и вестибулярным желобком, проходящим в основании щупалец и впадающим в ротовое отверстие (Atkins, 1932; Hyman, 1951; Brien, 1959; Emschermann, 1982; Borisanova, 2018). Пищевыми объектами внутрипорошицевых являются одноклеточные водоросли (диатомовые, динофлагелляты, десмидиевые), простейшие и мелкие животные, а также частицы детрита (Hyman, 1951; Mariscal, 1965).

При сходстве общего плана строения фильтрационного аппарата, детали его организации у разных видов внутрипорошицевых различаются. Отличается количество щупалец: минимальное число – 6, максимальное – более 30. Варьирует длина щупалец: у большинства видов она сопоставима с длиной чашечки, но у некоторых видов, например, у *Loxosomella aripes* Nielsen, 1964, *Loxosomella discopoda* Nielsen & Ryland, 1961, *Loxosoma axisadversum* Konno, 1972 щупальца очень короткие, из-за чего имеют почти треугольную форму. У разных видов различается расположение щупалец относительно оси тела: щупальцевая корона может быть направлена фронтально или дисто-фронтально.

Сами щупальца устроены у всех исследованных внутрипорошицевых по одному плану (Nielsen and Rostgaard, 1976; Nielsen and Jespersen, 1997; Borisanova, 2018). Фронтальная поверхность ресничная и состоит из пяти рядов клеток – фронтальный ряд, два латеро-фронтальных ряда и два латеральных ряда. Боковые и абфронтальная поверхности щупалец нересничные. На абфронтальной стороне могут располагаться органы чувств. В полости щупалец встречаются отдельные соединительнотканные клетки, лежат продольные мышечные волокна и нервы.

В ходе недавних исследований были обнаружены некоторые интересные различия в строении щупалец разных видов (Borisanova, 2020). Первое из них связано с наличием у некоторых видов фронтального желобка на фронтальной поверхности щупальца. Пока что фронтальный желобок описан только у двух колониальных видов, *Barentsia discreta* (Busk, 1886) и *Pedicellina cernua* Pallas 1774. Фронтальный желобок образуется за счет инвагинации апикальной поверхности фронтальной клетки. Глубина желобка может составлять от 2 до 6 мкм. У одиночных видов с изученной морфологией щупалец фронтальный желобок не описан. Интересно, что не описан он и у исследованных ранее особей видов *P. cernua* (Atkins 1932) и *B. discreta* (Franzén 1973). Предположительно, фронтальный желобок может развиваться только у крупных особей внутрипорошицевых с широкими щупальцами для помощи в транспортировке мелких пищевых частиц к основанию щупальца.

Другое обнаруженное отличие связано с механизмом сворачивания щупалец в атриальную полость при раздражении чашечки. У колониального вида *P. cernua* щупальца сгибаются, но практически не меняют длину; у одиночного вида *Loxosomella nordgaardi* Ryland, 1961 происходит значительное сокращение длины щупальца, а не только сгибание. Сворачивание щупалец происходит у внутрипорошицевых за счет мышечных волокон, лежащих по бокам от латеральных клеток фронтальной поверхности щупалец. Также в сворачивании, вероятно, принимают участие внутриклеточные миофиламенты ресничных латеро-фронтальных клеток. У исследованных одиночных и колониальных видов различий в

организации мускулатуры щупалец нет, хотя у одиночных миофиламенты латеро-фронтальных клеток менее развиты. Различия в механизме сворачивания у изученных видов могут быть связаны с обнаруженными различиями в строении абфронтальной стороны щупалец. У колониальных видов эпидермальные клетки абфронтальной стороны сильно вакуолизированы, вздуты и глубоко вдаются в полость щупальца, в то время как у одиночных видов клетки абфронтальной стороны практически не отличаются по строению от клеток боковых сторон щупальца и не образуют вздутий. Можно предположить, что именно сильно вакуолизированные клетки абфронтальной поверхности препятствуют изменению длины щупалец при сокращении мышц у колониальных видов. Пока неясно, связаны ли найденные различия в сворачивании щупалец с систематическим положением изученных представителей или с особенностями морфологии чашечки конкретных видов.

Согласно результатам предыдущих исследований (Nielsen and Jespersen, 1997; Fuchs et al., 2006; Borisanova et al., 2019) и нашим последним данным (Borisanova, 2020), в щупальца внутрипорошицевых заходит три нерва – два латеро-фронтальных, которые проходят около латеральных клеток фронтальной поверхности щупальца, и аборальный, лежащий ближе к аборальной поверхности. Латеро-фронтальные нервы состоят всего из одного-двух волокон. Предполагается, что они участвуют в иннервации латеральных клеток, биение ресничек которых создает ток воды для улавливания пищевых частиц. Аборальный нерв, скорее всего, связан с чувствительными органами, которые располагаются на аборальной стороне щупальца. Это подтверждается тем фактом, что у *L. nordgaardi* аборальный нерв короткий и заканчивается недалеко от основания щупальца – чувствительные органы у этого вида найдены только в нижней части щупалец. Сами чувствительные органы устроены по одному типу у всех исследованных видов внутрипорошицевых. Это одноклеточные структуры, представленные чувствительной клеткой с вогнутой апикальной поверхностью, от которой отходят микроворсинки и пучок ресничек.

В основании щупалец проходит ресничный вестибулярный желобок. Как показали последние исследования (Borisanova, 2020), у разных видов он может быть выражен в разной степени. У мелкого одиночного вида *L. nordgaardi* с 8 щупальцами вестибулярный желобок очень мелкий, почти незаметный на всем протяжении, кроме непосредственной близости к ротовому отверстию. У вида *P. cernua*, с крупной чашечкой, несущей 14-16 щупалец, вестибулярный желобок хорошо выражен, хотя глубина его непостоянна. Около анального конуса он почти отсутствует, но по мере приближения ко рту становится все более глубоким. У этого вида формируются разделительные гребни – ресничные подушки, образованные при слиянии фронтальных поверхностей соседних щупалец. Между соседними разделительными гребнями видно углубление – это продолжение фронтального желобка щупалец, который доходит до самого дня вестибулярного желобка. У *L. nordgaardi* не формируются разделительные гребни. Исследование ультраструктуры клеток желобка показало, что клетки внутреннего и наружного края желобка сходны по строению с латеральными клетками щупалец. Клетки стенок желобка больше похожи на фронтальные клетки щупалец. Дно желобка образовано невысокими ресничными клетками, отличающимися по ультраструктуре от клеток стенок желобка и от всех типов клеток щупалец.

Исследование поддержано Российским Научным Фондом (проект 18-14-00082).

Atkins D (1932) The Ciliary Feeding Mechanism of the Entoproct Polyzoa, and a comparison with that of the Ectoproct Polyzoa // Quarterly Journal of Microscopical Science 75:393–423.

Borisanova AO (2018) Entoprocta (Kamptozoa) / Schmidt-Rhaesa A (ed) Handbook of Zoology. Miscellaneous Invertebrates. De Gruyter, Berlin, Boston, pp 111–162.

Borisanova AO (2020) Two types of the tentacle structure of Entoprocta and the fine structure of the vestibular groove // Zoomorphology.

Borisanova AO, Malakhov VV, Temereva EN (2019) The neuroanatomy of *Barentsia discreta* (Entoprocta, Coloniales) reveals significant differences between bryozoan and entoproct nervous systems // Frontiers in zoology 16: 9.

Brien P (1959) Classe des Endoproctes ou Kamptozoaries / Grasse Pierre-P (ed) Traité de Zoologie, Vol. 5. Masson et Cie, Paris, pp 927–1007.

Emschermann P (1982) Les Kamptozoaires. État actuel de nos connaissances sur leur anatomie leur development, leur biologie et leur position phylogénétique // Soc. Zool. Fr. 107: 317–344.

Fuchs J, Bright M, Funch P, Wanninger A (2006) Immunocytochemistry of the neuromuscular Systems of *Loxosomella vivipara* and *L. parguerensis* (Entoprocta: Loxosomatidae) // J. Morphology 267:866–83.

Hyman LH (1951) The invertebrates. Vol. 3. Acanthocephala, Aschelminthes and Entoprocta. The pseudocoelomate Bilateralia. McGraw-Hill, N.Y., London, Toronto.

Mariscal RN (1965) The adult and larval morphology and life history of the Entoproct *Barentsia gracilis* (M. Sars, 1835) // J. Morphology 116:311–338.

Nielsen C, Jespersen Å (1997) Entoprocta / Harrison FW, Ruppert EE (eds) Microscopic anatomy of invertebrates, vol. 13. Wiley-Liss, New York, pp 13–43.

Nielsen C, Rostgaard J (1976) Structure and function of an entoproct tentacle with a discussion of ciliary feeding types // Ophelia 15:115–140.

ПЛАНКТОН И БЕНТОС АЗОВСКОГО МОРЯ. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА.

Афанасьев Дмитрий Федорович, Мирзоян Зинаида Александровна, Сафронова Людмила Михайловна, Фроленко Людмила Николаевна, Живоглядова Любовь Александровна

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону.

Введение

Многолетняя и межгодовая динамика гидробиологических сообществ – наиболее сложные для анализа процессы, происходящие в экосистеме. Она зависит от целой группы факторов, разных по степени влияния и происхождению, связанными с внешним воздействием (в том числе антропогенным) и процессами, определяемыми сукцессией самих сообществ. Анализ подобного рода изменений, как правило, требует продолжительного ряда наблюдений. В этом отношении Азовское моря представляет собой уникальный водный объект, исследования которого продолжаются более полувека. По отдельным компонентам экосистемы ряды наблюдений имеются с 1956 г.

Работа посвящена исследованию многолетних изменений качественного состава и количественных характеристик фитопланктона, зоопланктона и зообентоса Азовского моря. Предпринята попытка выявления методами статистического анализа ключевых абиотических и биотических факторов среды, определяющих трансформацию сообществ.

Данные и методы

Для анализа использованы материалы комплексных гидробиологических съемок Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» за период с 1956 по 2020 гг. Пробы планктона и бентоса отбирали в соответствии принятыми рекомендациями (Методические…, 2005).

Результаты

Выделено два ключевых фактора, определяющих направленность и степень трансформации сообществ Азовского моря – изменение материкового стока и натурализация видов-вселенцев.

В многолетнем ряду наблюдений структурно-функциональные характеристики фитопланктона Азовского моря изменялась в широких пределах. В периоды распреснения пресноводный комплекс занимает весь Таганрогский залив и прилегающую часть собственно моря. В этих районах отмечается массовое развитие цианобактерий, формирующих высокую биомассу. На остальной акватории открытой части моря развиваются солоноватоводные виды диатомовых и динофитовых водорослей. В годы осолонения отмечается снижение видового разнообразия и встречаемости пресноводно-солоноватоводных видов и увеличение количества морских видов. Ареал цианобактерий сокращается до восточного района залива. Видовой состав альгоценоза обогащается черноморскими видами, некоторые из которых, развиваясь в массе в отдельные годы, определяют осенний максимум биомассы фитопланктона (*Pseudo-nitzschia seriata, Cerataulina pelagica*). Для периодов осолонения характерна более низкая, в сравнении с годами распреснения, биомасса фитопланктона.

В зоопланктоне до антропогенных преобразований режима Азовского моря в условиях оптимального диапазона солености аборигенные виды зоопланктона получали доминантное

развитие и определяли высокую продуктивность сообщества в целом. Большая часть биомассы сообщества формировалась за счет веслоногих ракообразных, которые определяли так называемый копеподный максимум. Из желетелого планктона эпизодически появлялись только мелкоразмерные гидроидные медузы, которые практически не влияли на структуру и функционирование традиционной азовской планктонной фауны.

С повышением солености (1969–1977 гг.) в сообществе произошла смена аборигенных доминантных пресноводных и солоноватоводных видов, менее продуктивными черноморскими мигрантами. Помимо этого, наблюдалось появление двух видов медуз – *Aurelia aurita* и *Rhizostoma pulmo*, хищничество которых привело к исчезновению летнего копеподного максимума биомассы.

Последующие периоды опреснения и осолонения проявлялись в перестройках сообщества, в частности менялось соотношение солоноватоводного комплекса видов и черноморских мигрантов.

В 1988 г. азовская фауна пополнилась новым желетелым хищником – гребневиком мнемиопсисом, который сильно деформировал традиционную структуру зоопланктона и его сезонную динамику. В 1999 г. в Азовском море появился гребневик-берое, специализирующийся на питании мнемиопсисом.

Эффективность контроля берое популяции мнемиопсиса с позиции восстановления кормовой базы сравнительно невысока, поскольку снижение численности мнемиопсиса и улучшение состояния зоопланктона происходят: во-первых, гораздо позже периода основного нагула рыб; во-вторых, в районах, не всегда являющихся традиционной нагульной акваторией (например - южная часть моря) и в третьих, восстановление структуры и продукционных показателей кормового зоопланктона ограничены во времени и пространстве. Наиболее очевидно опосредованное влияние берое, которое реализуется через низкие стартовые концентрации в начале развития мнемиопсиса и изменение сроков его захода.

Донное сообщество при естественном режиме рек (40-50-е гг.), согласно В.П. Воробьеву, было представлено следующими биоценозами: Pontogammarus, Lentidium, Mytilaster, Cerastoderma, Abra, Hydrobia, Nephtys, Balanus, Nereis, Dreissena, Monodacna, Hypaniola, Ostracoda. Определяющими факторами для развития зообентоса были кислородный режим и соленость. В 1969-1976 гг. осолонение вод моря привело к колонизации его черноморскими видами. Основу общей биомассы бентоса в этот период формировали моллюски *C. glaucum, Mytilaster lineatus* и *Mytilus galloprovincialis*. В 1978 г. появился двустворчатый моллюск- вселенец *Mya arenaria.* Последующие периоды опреснения и осолонения вносили коррективы в развитие бентофауны и проявлялись в перестройках сообществ пресноводного, солоноватоводного и морского комплексов. С 1989 г. в комплексе биотических факторов особое место занял новый вселенец двустворчатый моллюск *Anadara kagoshimensis.* Снижение солености вод в 2000-2006 гг. привело к сокращению сообществ церастодермы, мидии и вселенцев мии и анадары. С 2007 г. устойчивый рост солености в Азовском море стимулировал развитие морских гидробионтов.

С 2015 г. в восточной части Таганрогского залива развивается вселившаяся солоноватоводная североамериканская спионида *Marenzelleria* sp,. которая стала ведущим компонентом бентоса в этом районе, а также сабеллида *Laonome xeprovala.* В западной части залива в массовом количестве развиваются и формируют сообщества морские виды моллюсков *C. glaucum* и *A. segmenta*, в которых встречаются полихеты-вселенцы мелкие спиониды *Polydora ciliata* и *Streblospio gynobranchiata*. Увеличение солености вод

позволило расселиться в этой части залива моллюскам-вселенцам *M. arenaria* и *A. kagoshimensis.*

Заключение

В целом в последние годы отмечается снижение продуктивности сообществ планктона в Азовском море. Высокопродуктивные зоны фито- и зоопланктона сохранились только в крайней восточной (распресненой) части Таганрогского залива. Наблюдается распространение гребневика *Mnemiopsis leidyi* в восточную часть Таганрогского залива (до изогалины 3,5 ‰). В 2018-2020 гг. в Азовском море отмечена вспышка развития корнерота. За счет развития черноморских видов и появления в экосистеме вселенцев произошло увеличение видового разнообразия и биомассы зообентоса.

Список литературы

Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне. Краснодар. – 2005. – 352 с.

НИЖНЯЯ ГРАНИЦА ДОННОЙ ФАУНЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ И ЕЕ ДИНАМИКА

Колючкина Галина Антоновна[1], Семин Виталий Леонидович[1], Чикина Маргарита Владимировна[1], Басин Александр Борисович[1], Булышева Наталья Ивановна [2], Коваленко Екатерина Павловна[2], Бирюкова Светлана Владимировна[3]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН* galka.sio@gmail.com
[2] *Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН*
[3] *Мурманский морской биологический институт РАН*

Введение

В начале XX в. на северо-восточном побережье Черного моря многоклеточная донная фауна отмечалась до глубин 130-160 м (Никитин, 1949). В середине XX в. отдельные находки организмов макрозообентоса отмечали до глубин 200 м (Киселева, 1985). Данные о современном состоянии донных сообществ нижних границ оксифильной зоны отрывочны, и касаются в основном северо-западного шельфа. В начале XX века на побережье Крыма и северо-западном шельфе были выявлены флуктуации содержания кислорода. Здесь в поясе фазеолины в 2000-е гг. стали отмечаться признаки деградации: снижение биомассы и средних размеров основного доминанта – *Modiolula phaseolina* (Friedrich et al., 2014). Мы попытались оценить вероятность сходных изменений для северо-восточной части бассейна, для чего было проведено обобщение результатов исследований макрозообентоса границы оксифильной зоны (80-200 м) в 2000-2020-х гг. и ретроспективный анализ положения границы обитания макрозообентоса в этом районе.

Данные и методы.

Материалом для оценки современного состояния донных сообществ послужили 21 дночерпательная станция ИО РАН, 12 станций ЮНЦ РАН, выполненные от п-ова Абрау до границы с Абхазией в 2002-2020 гг. и 5 станций НПО Роснефть, выполненные на Гудаутском лицензионном участке в Черном море (Респ. Абхазия) (по Атлас…, 2019) (рис. 1).

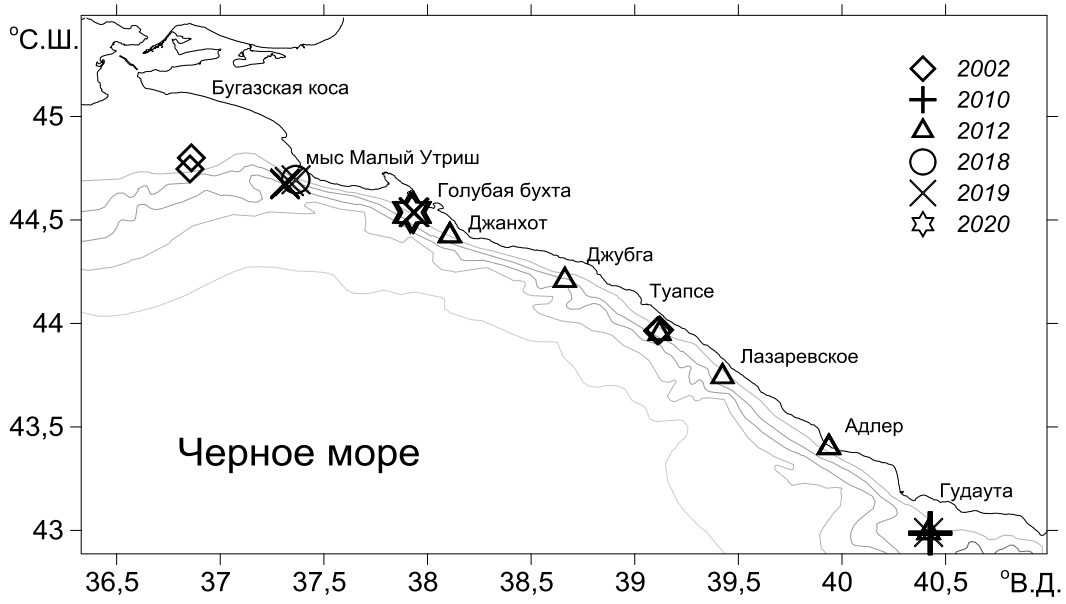


Рисунок 1. Карта станций.

Для ретроспективного анализа были привлечены литературные данные, содержащие информацию о числе видов на определенных глубинах северо-восточного побережья

Черного моря 1920-1930 гг. (Никитин, 1949), а также количественные данные по численности бентоса и числе видов в 1958, 1968, 1986, 1989 гг. по северо-восточному побережью Черного моря, преимущественно в районе г. Туапсе (Киселева, 1985; 1992). Были использованы данные по числу видов и численности макрозообентоса на станциях. Обработку данных проводили в программе Excel 2010.

Результаты

Сообщества глубин 80-117 м Голубой бухты и Утриша по количественному развитию и видовому разнообразию можно отнести к нижней краевой зоне фазеолинового ила (Киселева, 1981) или по современной классификации – к обедненному глубоководному биоценозу (Атлас…, 2019). Здесь были отмечены вариации биоценоза фазеолинового ила с доминированием полихет и двустворчатых моллюсков (табл. 1). Биомассы здесь составляли 20-40 г/м^2 при численностях 400-8000 экз/м^2.

Сообщества более глубоких горизонтов (128-145 м) на побережье РФ, бедные видами и отличающиеся низкой биомассой (сотые доли грамма на м^2) макрозообентоса – эфемерные сообщества зоны заморов. Здесь встречаются либо ювенильные стадии организмов, размножающихся выше в оксифильной зоне (случайный компонент), либо организмы, для которых устойчивость к аноксии и сероводороду показана экспериментально – *Capitella capitata* (Gamenick, et al., 1998) – или косвенно, т.к. они являются постоянными компонентами фауны биотопов с неблагоприятным газовым режимом (гипоксия/аноксия/сероводород) – *Aricidea claudiae,* Oligochaeta gen. sp. (Mazlumyan, Boltachova, 2017; Киселева, 2004).

Таблица 1. Доминирующие виды в диапазоне глубин 80-200 м в 2000-2020 гг.

Глубина, м	**Доминирующие виды**	**Количество азойных станций, %**
80-95 м	*Modiolula phaseolina, Melinna palmata*	0
100-120 м	*Modiolula phaseolina, Melinna palmata,* Polychaeta spp., *Lucinella divaricata*	23
128-140 м	*Modiolula phaseolina,* Polychaeta spp., Oligochaeta sp., *Aricidea claudiae*	17
165-195	нет живых организмов макрозообентоса	100

В современный период наиболее глубоко макрозообентос был отмечен в районе Гудаутской банки (респ. Абхазия). Здесь на глубинах 135-150 м было отмечено от 0 до 6-ти видов в среднем 3±2, тогда, когда в других районах на этих глубинах отмечали лишь эфемерный биоценоз зоны заморов. Это, по всей видимости, определяется уникальностью района Гудауты из-за наличия там геологической осевой структуры – чрезвычайно пологого участка дна с расположением кромки шельфа на глубинах до 200 м, что, по всей видимости, определяет и гидрологический режим района, позволяя опускаться водам, богатым кислородом до предельных глубин (по крайней мере, 150 м, т.к. на этой глубине было отмечено разнообразное сообщество макрозообентоса – 6 видов с рекордной для таких глубин биомассой – 11 г/м^2).

По нашим данным и данным НПО Роснефть по респ. Абхазия (по Атлас…, 2019), граница многоклеточного бентоса на северо-восточном побережье Черного моря в начале XXI в. проходила между 135 и 164 м (рис. 2). Эти значения не отличаются от данных, полученных для побережья в 1920-1930 гг. на побережье Кавказа, куда включали и Абхазию, и Грузию, эта граница проходила также на 130-165 м (Никитин, 1949). В 1958-1968 гг. же она

доходила до 200 м (Киселева, 1985). Указывают ли различия в этих эти значениях, на какие-либо направленные изменения в бентосе?

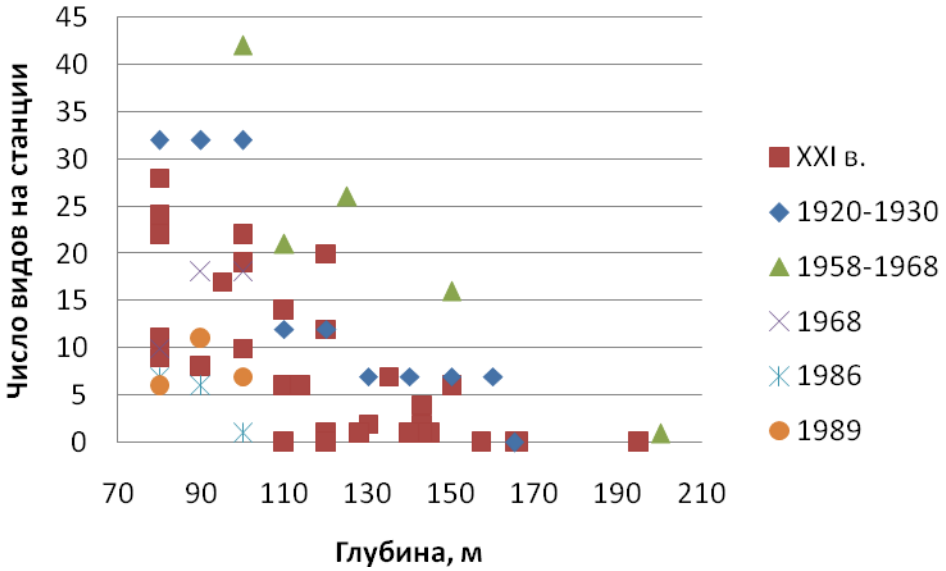


Рис. 2. Число видов макрозообентоса в диапазоне глубин 80-200 м по данным современных и исторических съемок (Никитин, 1949; Киселева, 1985; 1992) на северо-восточном побережье Черного моря.

Для ответа на этот вопрос мы проанализировали различия в методах отбора проб, сетках станций и встречаемости видов на предельных глубинах. Как в работах Никитина (1949) и Киселевой (1985), так и в настоящем исследовании для отбора проб были использованы дночерпатели. В работах начала XX в. применяли дночерпатель Петерсена, площадь которого, к сожалению, авторы не указывают. В работах середины XX в. использовали дночерпатели и Океан-0.1, и Океан-0.25 (Киселева, 1985). В настоящем исследовании использовали дночерпатель Океан-0.1, Ван-Виина-0.1 и -0.112, которые позволяют получить в 2.5 раз меньшую площадь пробы по сравнению с четвертьметровым вариантом, что, несомненно, снижает вероятность нахождения организмов. Тем не менее, макрозообентос был обнаружен в пробах до глубин 150 м включительно.

Кроме площади пробы, огромное значение имеют размеры используемого при промывке пробы сита (Киселева, 1981). В настоящем исследовании использован газ с диаметром ячеи 0,5 мм, в отличие от работ начала и середины XX в., когда использовали 1 мм газ, что позволяет улавливать более мелкие формы бентоса.

Еще одной причиной наблюдаемых различий может быть, на наш взгляд, несовпадение сетки станций (Азовский, 2018). В 1920-1930-е гг. в области кромки шельфа Кавказа было проведено исследование на 30-ти бентосных станциях, равномерно распределённых по побережью (Никитин, 1949). А в 1958-1968 гг. – 33 дночерпательных станции (20 станций было собрано на глубине 100 м, 1 – на 120 м, 2- на 140 м, 8- на 150 м, 2 – на 200 м), сосредоточенных в основном в районе Туапсе, Сухуми и Батуми (Киселева, 1985). Именно в этом исследовании было найдено наибольшее количество видов бентоса на предельных глубинах и наиболее глубокое залегание границы бентоса (200 м). В XXI в. материал собирали от п-ова Абрау до Гудаутской банки и наибольшее количество видов было найдено именно в районе Абхазии.

Отличительной чертой сообществ границы оксифильной зоны является не только снижение видового разнообразия, но и высокая мозаичность распределения бентоса. Впервые это явление было отмечено в 1958-1968 гг.: на150 м на некоторых станциях макрозообентос отмечен не был, а на других находили до 20 видов (Киселева, 1985). А

встречаемость макрозообентоса здесь не превышала ни для одного вида 25%, биомасса – 2-х г/м^2. А на 200 м изобате на двух станциях был обнаружен единственный вид – *Heteromastus filiformis* с численностью 5 экз/м^2 (Киселева, 1985). Из-за высокой мозаичности сообществ разница по биомассе в два раза для биоценоза фазеолинового ила находится в пределах ошибки измерений. Таким образом, выводы о "strong decrease in biomass" и "This may indicate a rise in the depth of the oxic–anoxic transition zone", сделанные зарубежными авторами для северо-западной части Черного моря (Friedrich et al., 2014: p. 1242) вполне могут быть ошибочны.

Заключение

В отличие от северо-западного шельфа Черного моря, где наблюдается прогрессивное сужение кислородной зоны и подъем границы зообентоса, на черноморском побережье Краснодарского края и в Абхазии в XXI в. не отмечено катастрофического сужения зоны обитания многоклеточного бентоса. Одной из главных характеристик черноморских макрозообентосных сообществ глубин 80-150 м является высокая мозаичность.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Министерства образования Краснодарского края № 19-45-230012 (ИО РАН), в рамках темы НИР ГЗ ЮНЦ РАН АААА-А18-118122790121-5 (Булышева Н.И. и Коваленко Е.П.)

Список литературы:

Азовский А.И. Анализ многолетних рядов биологических данных: методологические проблемы и возможные подходы // Журнал общей биологии. – 2018. –Т. 79. – № 5. – С. 329–341.

Киселева М.И. Сравнительная характеристика донных сообществ у побережья Кавказа//Многолетние изменения зообентоса Черного моря. – Отв. ред. В.Е. Заика. Киев: Наукова думка. – 1992.. – С. 84-98

Киселева М. И. Бентос рыхлых грунтов Черного моря. Киев: Наукова думка. – 1981. – 168 с.

Киселева М. И. Распределение бентоса в нижней зоне шельфа у побережий Крыма и Кавказа. ИНБЮМ. Севастополь. – 1985.

Киселева М. И. Многощетинковые черви (Polychaeta) Черного и Азовского морей. Апатиты: Кольский научн. центр. – 2004.

Никитин В. Н. Основные закономерности распределения жизни в Черном море// Тр. ИОАН СССР. – 1949.–Т. 3.– С. 173-190.

Экологический Атлас. Черное и Азовское моря / ПАО «НК «Роснефть», ООО «Арктический Научный Центр», Фонд «НИР». — Москва: Фонд «НИР» 2019. — 464 с. : ил. — (Экологические атласы морей России).

Friedrich J., Janssen F., Aleynik D. et al. Investigating hypoxia in aquatic environments: diverse approaches to addressing a complex phenomenon //Biogeosciences. – 2014. – V. 11. – №. 4. – P. 1215-1259.

Gamenick I., Abbiati M., & Giere O. Field distribution and sulphide tolerance of *Capitella capitata* (Annelida: Polychaeta) around shallow water hydrothermal vents off Milos (Aegean Sea). A new sibling species?// Marine Biology. – 1998. – V. 130(3). – P. 447-453.

Mazlumyan S., Boltachova, N. Long-term variations in macrobenthos diversity at the Istanbul Strait's (Bosporus) outlet area of the Black Sea //Ecologica Montenegrina. – 2017. –V. 14. –P. 80-91.

МАКРОФИТЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ЕГО ЛАГУН

Герб Марика Арамовна, Володина Александра Анатольевна
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва

Введение

Публикуемые сведения являются частью проводимых нами многолетних (с 2006 по настоящее время) исследований водной флоры Калининградской области (включая макроводоросли). Обобщения и инвентаризация данных проведены в рамках темы госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013).

Документирование состава региональных флор и происходящих изменений под влиянием внешних факторов и в периоды климатической неопределенности или быстрого изменения климата составляют научную значимость и базис для выявления трендов. Недостаточность опубликованных данных по флоре макрофитов российской части юго-восточной части Балтийского моря (ЮВБ) и его лагун (Куршский и Калининградский (Вислинский) залив) определяет актуальность инвентаризационных гидроботанических исследований.

Данные и методы

Полевые работы проводились в прибрежной части ЮВБ, Куршского и Вислинского заливов на территории Калининградской области (Рис.1).

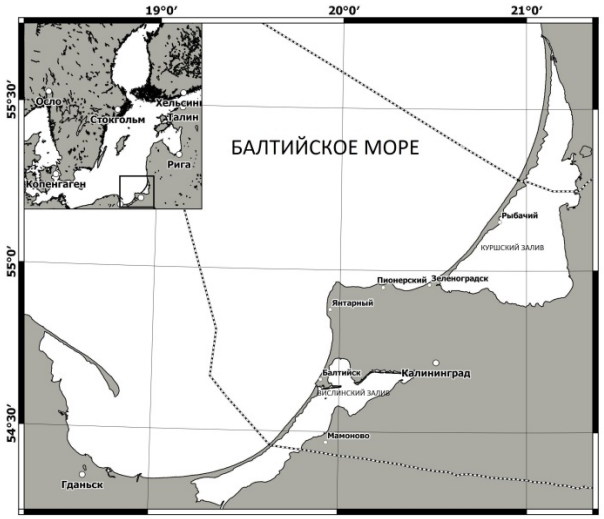


Рис.1 Район исследований макрофитов в российской части Балтийского моря и его заливов

Исследования макрофитов и геоботанические описания вели согласно общепринятым отечественным методикам [Калугина-Гутник, 1975; Катанская, 1981; Папченков, 2001]. Качественные и количественные пробы отбирались в течение вегетационных сезонов с 2010 г по 2020 гг. вдоль побережья моря и его заливов, в зоне заплеска и на глубинах 0-0,6 м (включая обрастания валунов и бун). Водолазные гидробиологические съемки с отбором проб проводились только в Балтийском море методом трансект до изобаты 15 м. Макроводоросли идентифицированы с использованием микроскопа Olympus CX 41. При определении макрофитов использовали общепринятые определители [Цвелев, 2000; Зинова, 1953, 1955; Pankow,1990; Rothmaler, 2011]. Конспект видов составлялся с учетом номенклатурных изменений [Черепанов, 1995; WoRMS; ITIS].

Результаты и обсуждение

Макроводоросли и сосудистые растения юго-восточной части Балтийского моря. За исследуемый период в море выявлено 33 вида макрофитов: один вид сосудистых растений (*Zostera marina*) и 32 вида макроводорослей [Володина, Герб, 2013]. Из них с 2008 г. по настоящее время с различной частотой встречается только 25 видов макроводорослей (табл. 1).

Произрастание *Zostera marina* в наших водах было зафиксировано лишь однажды, на глубине 1,5 м совместно с другими многолетними и однолетними водорослями (находка Володиной А.А, 09.09.2009). Отдельные экземпляры с корнями или части растений регулярно обнаруживаются лишь в береговых выбросах и, вероятнее всего, это – оторванные во время штормов и принесенные к нашим берегам из других районов моря экземпляры. Вопрос о произрастании зостеры в нашей части Балтики остается до конца неисследованным. Единственное выявленное местообитание *Zostera marina* позволяет отнести этот вид в категорию редкого и рекомендуется к охране и включению в новое издание Красной книги Калининградской области.

В российской части ЮВБ только 9 видов макроводорослей широко распространены и встречаются повсеместно: Chlorophyta – *Cladophora glomerata, Ulva intestinalis*; *Ulva prolifera,* Rhodophyta – *Bangia atropurpurea, Polysiphonia fucoides, Hildenbrandia rubra, Ceramium tenuicorne;* Ochrophyta – *Pylaiella littoralis, Ectocarpus siliculosus.*

В 2015-2016 гг. обнаружены два новых вида: *Halosiphon tomentosus* – новый для всего Готландского бассейна, *Gaillona rosea* – новый для Гданьского залива. Наибольшее видовое разнообразие, а также фитомасса макроводорослей сосредоточена на северном побережье Самбийского полуострова в районах расположения твердых грунтов (мыс Таран, мыс Гвардейский). Пояс многолетнего вида *Furcellaria lumbricalis* также обнаружен только в окрестностях мыса Таран на валунно-глыбовой отмостке.

Верхняя часть сублиторали заселена зелеными сезонными и эвригалинными водорослями (*Cladophora glomerata, Ulva prolifera*, *Ulva intestinalis*). С 1,5 м. начинается пояс красных многолетних водорослей, в котором встречаются и зеленые и бурые водоросли. Собственный пояс бурые водоросли не образуют, а суммарный вклад многолетнего *вида Battersia arctica* в биомассу фитоценозов незначителен.

Наибольшее видовое разнообразие (13-16 видов) сосредоточено на глубинах 2,5-5 м. Доминирующими видами на глубинах 3-9 м являются *F. lumbricalis* и *P. fucoides*. Отмечается высокая фитомасса мезосапробной водоросли *P. fucoides*. Этот вид характеризуются стабильной численностью, в отличие от типичных для Балтийского моря водорослей арктическо-бореальной группы (*F. lumbricalis, Fucus vesiculosus).* На глубинах 10-11 м встречаются красные водоросли – *Coccotylus truncatus, F. lumbricalis, P. fucoides, H. rubra.*

Куршский залив. В состав гигрофильной флоры Куршского залива включены 139 видов сосудистых растений (из них 105 – макрофитов) и 24 вида макроводорослей (табл.1). Таким образом, число макрофитов в Куршском заливе, включая водные мхи и макроводоросли составляет 129 видов. Здесь были впервые выявлены новые местообитания для *Batrachospermum atrum, Chroodactylon ornatum, Chaetophora elegans, Vaucheria bursata* и охраняемого *Nymphoides peltata* – 1 категории редкости, занесенного в Красную книгу Калининградской области.

В южной части Куршского залива произрастают типичные пресноводные виды северо-запада России, т.к. соленость вод здесь никогда не превышает 0, 5 ‰.

Калининградский (Вислинский) залив. Всего в составе гигрофильной флоры насчитывается 130 видов высших растений (из них 97 макрофитов) и 16 видов водорослей (табл.1). Число макрофитов составляет 113 видов. Видовой состав и число растительных ассоциаций, слагающих прибрежно-водную растительность Вислинского залива сходен с Куршским заливом. Солоноватоводность залива обуславливает специфичность флоры, небольшие отличия в составе растительных ассоциаций состоят в участии галофитов (ассоциации с участием *P. crispus* совместно с другими видами рдестов, локально – ассоциации с *Batrachium. trichophyllum* и *B. fluitans*), а также ассоциации *Zannichellia major* и *Z. palustris*. Фактор солености лимитирует произрастание пресноводных макрофитов, поэтому число видов здесь меньше чем Куршском заливе.

Более всего Вислинский залив отличается от Куршского флорой макроводорослей (Ks=0,2).

Значение коэффициентов Съеренсена-Чекановского для сравниваемых флор двух заливов по группам водных растений равен 0,74.

Таблица 1. Число видов макрофитов в российских водах ЮВБ, Куршского и Вислинского заливов по данным собственных полевых исследований, 2008- 2020 г.

№	Группы растений	Балтийское море	Вислинский залив	Куршский залив
1	Высшие растения	1	97	105
2	Макроводоросли	25	16	24
3	Всего видов	26	113	129

Заключение

Всего в составе гигрофильной флоры двух заливов отмечено 171 вид сосудистых растений из 102 родов, 49 семейств, 3 отделов. Согласно данным И.Ю. Губаревой [2016] это составляет 43.2% от общего числа видов гигрофильной флоры Калининградской области. Соотношения экологических групп растений в заливах схожи.

Число макрофитов по нашим собственным данным для юго-востояной части Балтийского моря составляет 26 видов; для Куршского залива – 129 видов; для Вислинского залива – 113.

За период наблюдений, начатых нами с 1999 г., выявлена тенденция к уменьшению числа видов макрофитов в растительных сообществах и выпадению отдельных видов, особенно среди гидрофитов. Наиболее приспособленными к сложившимся условиям, повсеместно встречающиеся среди гидрофитов в заливах оказались: *Potamogeton pectinatus*, *P. perfoliatus*, *Ceratophyllum demersum*. Массово в заливах произрастают те виды, которые характерны для водоемов, испытывающих постоянный, но умеренный приток биогенных веществ, указывающие на β-мезосапробный статус вод. Это виды-индикаторы и мезотрофных условий среды*: Scirpus lacustris, Nuphar lutea, Nymphaea candida, C. demersum*. В южной части Куршского залива и вдоль восточного побережья локально встречаются *Stratiotes aloides, Sagittaria sagittifolia* и индикаторы эвтрофности вод :*Hydrocharis morsus-ranae, Spirodela polyrhiza, Lemna trisulca, L. minor*.

По данным подводных погружений в 2008-2019 гг. нижний предел распространения пояса альгоценозов многолетних макроводорослей – эдификаторов подводных биоценозов, по сравнению с максимально возможным для этих видов в Балтийском море сдвинут в сторону меньших глубин, где медленно растущие макрофиты из отдела красных водорослей

конкурируют с быстрорастущими однолетниками и подвергаются штормовому воздействию. На характерной для красных водорослей глубине 9-11 м макрофиты встречаются редко и сплошного пояса не образуют. Глубже 12 м встречаются только колонии балянусов, мидий и гидроидов. В сравнении с Западной Балтикой, где в бентосных фитоценозах участвует большое количество бурых водорослей, альгофлора ЮВБ характеризуется обедненным видовым составом.

Анализ и интерпретация многолетних данных выполнены в рамках госзадания ИО РАН №0149-2019-0013.

Список литературы

Володина А.А., Герб М.А. Макрофиты прибрежной зоны российского сектора юго-восточной части Балтийского моря (Калининградская область) // Известия КГТУ. Серия «Биологические и сельскохозяйственные науки» 2013, № 28. С. 129−135.

Зинова А. Д. Определитель бурых водорослей северных морей СССР. М. Л.: Наука, 1955. 115 с.

Зинова А.Д. Определитель красных водорослей северных морей СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1953. – 212 с.

Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. Л.: Наука, 1981. 187 с.

Калугина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. Киев: Наукова думка. 1975. 248 с.

Папченков В.Г. Растительный покров водоёмов и водотоков Среднего Поволжья. – Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001.– 214 с.

Цвелев Н.Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России – СПБ.: Изд-во СПХФА, 2000. 781 с.

Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья – 95, 1995. – 992 с.

Pankow H. OstseeAlgenflora.G. Fischer Verlag. Jena. 1990. 648 P.

Rothmaler W. Exkursionsflora von Deutschland. B.3. Gefäßpflanzen: Atlasband. – Berlin: Spektrum Academischer Verlag, 2011. – 753 s.

WoRMS (World Register of Marine Species). URL: [www. marinespecies.org]

ITIS

СВОБОДНОЖИВУЩИЕ И ПРИКРЕПЛЕННЫЕ ПРОКАРИОТЫ КАРСКОГО МОРЯ И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Романова Надежда Дмитриевна, Беззубова Елена Михайловна
ФГБУН Институт Океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва

Данные по составу сообществ прокариот морей Российской Арктики крайне малочисленны, и в основном касаются обитателей верхнего слоя донных осадков. Тем временем, эта группа организмов является важнейшей в трансформации огранического вещества, как новосинтезированного, так и поступающего с речным стоком. Прокариоты, ассоциированные со взвесью - важный компонент экосистемы арктических морей (Garneau et al., 2009). В первую очередь, их роль важна в области выноса рек и континентального стока, где происходит активный процесс трансформации взвешенного вещества. Также вызывает повышенный интерес активность ассоциированных со взвесью частиц в области континентального склона, к которому также могут быть приурочены активные биологические процессы (Springer et al., 1996).

Материал для определения и анализа состава сообщества свободноживущих и аггрегированных на взвеси прокариот был собран в ходе 72 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (август 2018г.) в области влияния речного стока, на шельфе и в области континентального склона в Карском море и море Лаптевых (рис.1). Для идентификации организмов использовали метагеномное секвенирование 16S рРНК V3—V4 (Illumina MiSeq 250PE). Для анализа сходства состава сообществ прокариот использовали последовательный кластерный анализ методом среднего присоединения на основе матрицы индексов сходства Жаккара.



Рис. 1. Карта-схема расположения точек отбора проб.

В поверхностном слое Карского моря и моря Лаптевых преобладали представители филы Proteobacteria. Также существенный вклад вносилии представители филы Bacteroidetes. Подобная картина распределения характерна для арктических вод (Elifantz et al., 2007). Фила Proteobacteria была представлена в первую очередь Gammaproteobacteria и Alphaproteobacteria – типичными представителями морских олиготрофных вод, способных к использованию широкого спектра сложных органических соединений. Большинство

последовательностей филы Bacteroidetes относились к порядку Flavobacteriales, развитие представителей которого обычно приурочено к окончанию весеннего пика развития фитопланктона. Отдельно можно выделить поверхностый слой в области выноса рек, где основной вклад вносили представители отряда Micrococcales (Actinobacteria). Представители этого класса характерны для пресных водоемов. На шельфе моря Лаптевых по сравнению с Карским морем вырастает доля Alteromonadales (Gammaproteobacteria). Также стоит отметить, что в области выноса рек, и континентального склона возрастала доля представителей класса Cytophagia, которые более склонны к усвоению высокомолекулярных органических соединений, таких как хитин и внеклеточные полимеры (Elifantz et al., 2007). Анализ сходства сообществ прокариот указывает на сходство в сообществах области выноса рек, а также в северо-западной части моря Лаптевых (рис. 2). Особняком находится станция в юго-западной части Карского моря, а также горизонты, отобранные глубже верхнего перемешанного слоя.

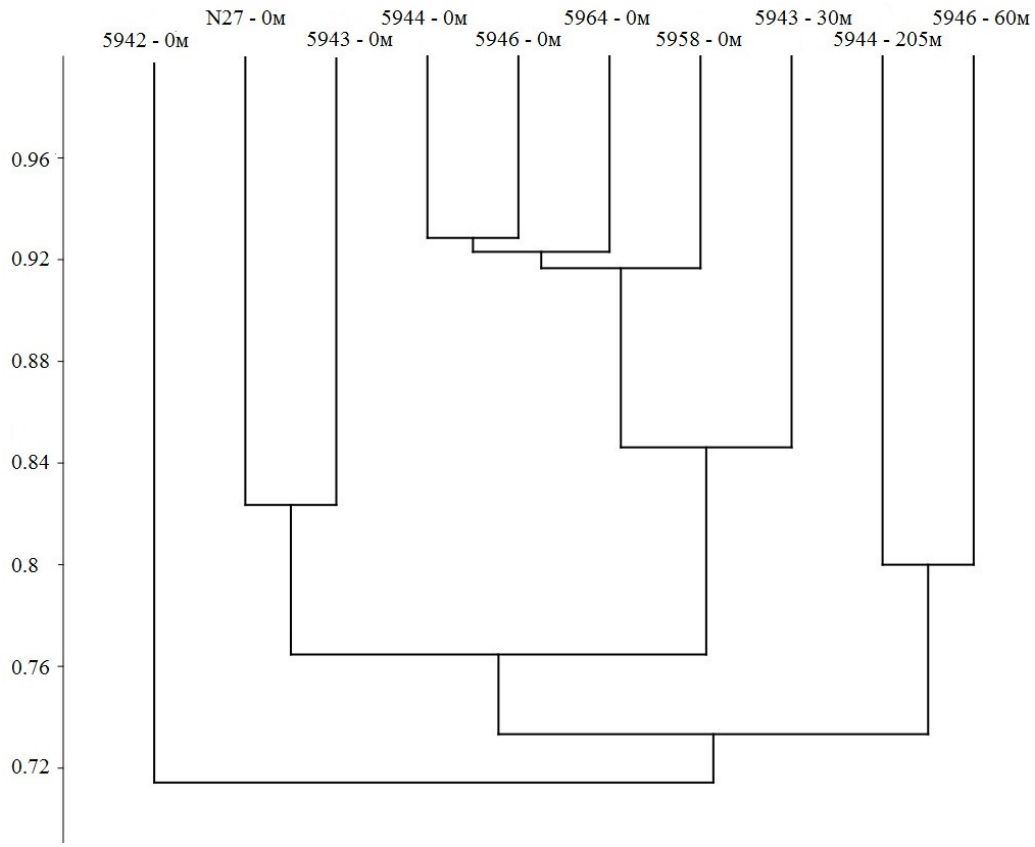


Рис. 2. Дендрограмма сходства сообществ свободноживущих прокариот в Карском море и море Лаптевых.

При анализе вертикальной структуры распределения сообщества прикрепленных прокариот в области континентального склона (рис. 3) можно выделить верхний квазиоднородный слой, слой воды под пикноклином и глубинную воду на горизонтах более 500м. Практически на всех горизонтах существенный вклад давали представители отрядов Alteromonadales (Gammaproteobacteria) и Rhodobacterales (Alphaproteobacteria). С глубиной практически на порядок снижался вклад отряда Flavobacteriales (Flavobacteriia). Глубже верхнего квазиоднородного слоя также увеличивался вклад Verrucomicrobia, а также

появлялись представители Nitrospinales и Planctomycetales. Представители класса Olygoflexia появлялись только на глубинах более 500 м.

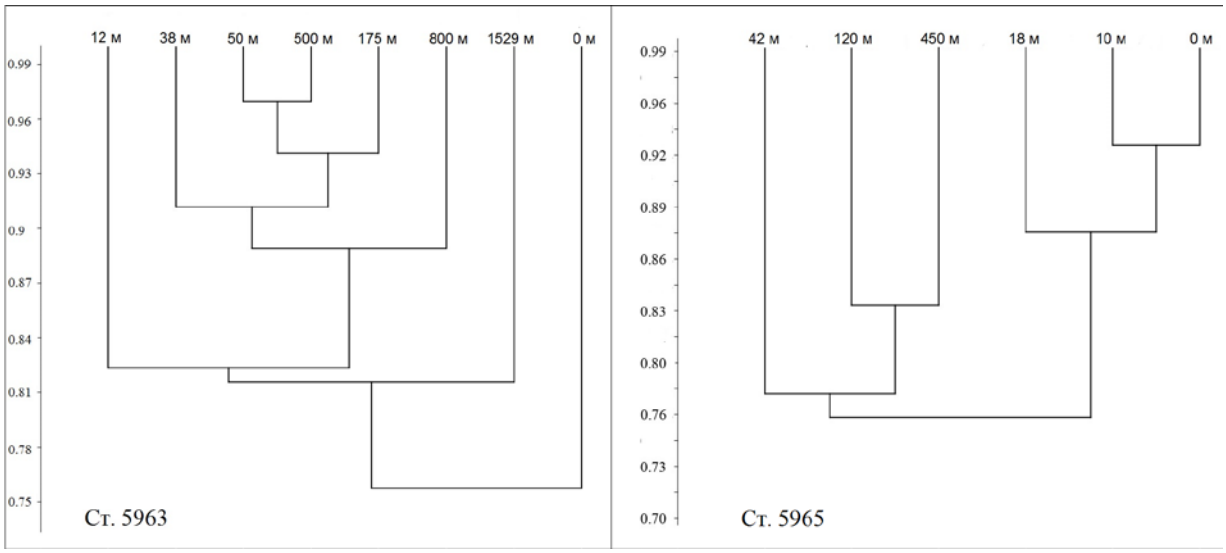


Рис. 3. Дендрограмма сходства сообществ прикрепленных прокариот на разных горизонтах в области континентального склона.

Таким образом, на основании полученных данных можно предположить, что в конце летнего сезона основные различия в составе сообществ ассоциированных со взвесью прокариот на шельфе арктических морей в поверхностном слое воды обусловлены прежде всего влиянием речного стока. В составе сообществ по глубине также наблюдается существенная разница, по всей видимости в результате изменения источника и доступности органического вещества.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-00326

Elifantz H., Dittel A. I., Cottrell M. T., Kirchman D. L. Dissolved organic matter assimilation by heterotrophic bacterial groups in the western Arctic Ocean // Aquatic microbial ecology. 2007. V. 50. P. 39-49.

Garneau M.-E., Vincent W.F., Terrado R., Lovejoy C. Importance of particle-associated bacterial heterotrophy in a coastal Arctic ecosystem // J. Marine Systems. 2009. P.185–197.

Springer A.M., Mcroy C. P., Flint M.V. The Bering Sea Green Belt: Shelf-edge processes and ecosystem production // Fisheries Oceanography. 1996. V. 5. P. 205-223.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ФРОНТАЛЬНОГО БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА В МЕЛКОВОДНОЙ ПРИЛИВНОЙ ЛАГУНЕ СУХОЕ МОРЕ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Мосеев Дмитрий Сергеевич[1], Лещев Андрей Владимирович[1], Мискевич Игорь Владимирович[1], Сергиенко Людмила Александровна[2]

[1] Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва

[2]Петрозаводский государственный университет, Институт Биологии, Экологии и Агротехнологий, Петрозаводск

Введение

В приустьевых участках Белого моря при отсутствии волнения, активно развивается прибрежно-водная растительность, образующая биоценозы солоноватых маршей, виды которых выдерживают воды, характеризующиеся невысокой соленостью (1-10 ‰).

Основными факторами определяющим их эколого-ценотический оптимум являются соленость воды, величина прилива, механический состав приморских грунтов. Однако особенности организации сообществ солоноватоводных макрофитов не одинаковы при различной солености и величине прилива, что выражено в зонах смешения пресных и солѐных вод речных эстуариев и дельт.

Данные, материалы и методы

В июле-августе 2019 г., на 2-х станциях (1 м/взв и 2 м/взв), нами были получены новые данные показывающие воздействие галофитной растительности на гидрологический режим мелководных солоноватоводных заливов приустьевого участка р. Мудьюга, впадающей в мелководную лагуну Сухое Море на юго-востоке Двинского залива Белого моря.

Устьевое взморье р. Мудьюги расположено между дельтой реки и восточным берегом острова Мудьюгский в районе мыса Заячий и характеризуется значительным зарастанием водной растительностью. Изучение последней проводилось детально- маршрутным методом, путем закладывания пробных площадок размером 3×3 м в прибрежно-водных фитоценозах однородных по составу и структуре.



Рис. 1. Карта-схема района исследований (участок проведения исследований обозначен прямоугольником)

На участке с зарослями макрофитов, на границе которого расположена станция 2 м/взв, развиты несколько поясов водной растительности (макрофитов). Ближе к мысу Заячий выделяется пояс тростниковых сообществ асс. *Phragmitetum australis*, образованный почти чистыми зарослями тростника, высотой более 2 м, с примесью *Schoenoplectus tabernaemontani, Eleocharis uniglumis, Bolboschoenus maritimus, Ruppia maritima*. Этот пояс 2 раза в сутки заливается приливами, уровень воды которых достигает 20-50 см [Мискевич, Мосеев, 2019].

Ниже тростникового пояса, выделен пояс клубнекамыша морского асс. *Bolboschoenetum maritimi*, с примесью морской астры (*Tripolium vulgare*), образованный небольшими «островками» растительности в части береговой полосы, затапливаемой в результате полусуточных приливов.

По осушкам в полосе влияния сизигийного отлива и в прибрежном мелководье верхней сублиторали, выражен пояс из почти чистых зарослей камыша Табернемонтана асс. *Scipretum tabernaemontani*, в нижнем ярусе сообществ которого обычны нитчатые зеленые водоросли, *Ruppia maritima*. Глубже камышовых зарослей выделен пояс рдеста гребенчатого асс. *Potamogenetum pectinati*. Он больше приурочен к неосушаемым в отлив участкам устьевого взморья р. Мудьюги, где наблюдаются сильные течения, а также к песчаному берегу мыса Заячий.

Приливо-отливный цикл в устьях рек порождает сложную картину короткопериодной изменчивости, в которой отчетливо прослеживаются колебания гидрологических параметров (уровень воды, соленость, течения, мутность, температура воды) и гидрохимических характеристиках, зависящих от гидробиологических процессов (кислород, величина pH, биогенные вещества). На станциях в течение приливо- отливного цикла, проводились измерения уровня воды, температуры воды, минерализации, кислорода и величины pH на поверхностном горизонте с дискретностью 2 часа в течение суток с помощью многопараметрического анализатора жидкости *Multi 3420* фирмы *WTW*.

Результаты

Исследования показали, что на открытом участке лагуны (1м/взв) и участке, заросшем макрофитами (2 м/взв), выявляется наличие биогеохимического фронтального раздела.

Анализ полученной информацации указывает на явное усиление амплитуды короткопериодной изменчивости гидрологических, гидрохимических и гидробиологических показателй в устьевых водах, проходящих через заросли сообществ макрофитов. В качестве гидробиологического показателя нами использовано кислородонасыщение, как индикатор интенсивности вегетации водной растительности. В то же время, на границе зарослей макрофитов наблюдалось усиление полусуточной (приливной) изменчивости, тогда как на открытой акватории Сухого Моря (на станции 1м/взв) более четко прослеживалось влияние суточного хода солнечной активности.

Обращает на себя внимание аномально большая суточная амплитуда изменчивости кислородонасыщения на станции 2 м/взв, достигающая в июле 69,2 %, тогда как на станции 1 м/взм она не превышала 32,7 %. Данный факт указывает на активные процессы эвтрофикации, идущие на участках с наличием массовых зарослей водных макрофитов в

губе Сухое Море (рис. 1). При аномально жарком лете на подобных участках на малой воде приливного цикла вполне вероятно временное исчезновение растворенного в воде кислорода и появление сероводорода. Это, в свою очередь, может негативно сказаться на водных гидробионтах и заметно уменьшить площадь акваторий нагула рыбы в Сухом Море, включая такие ценные виды рыб как кумжа, нельма и сиг. Эвтрофикация вод Сухого Моря, в принципе, отмечается на всей его акватории, но около зарослей водных макрофитов, как показали наши наблюдения, она выражена гораздо сильнее.

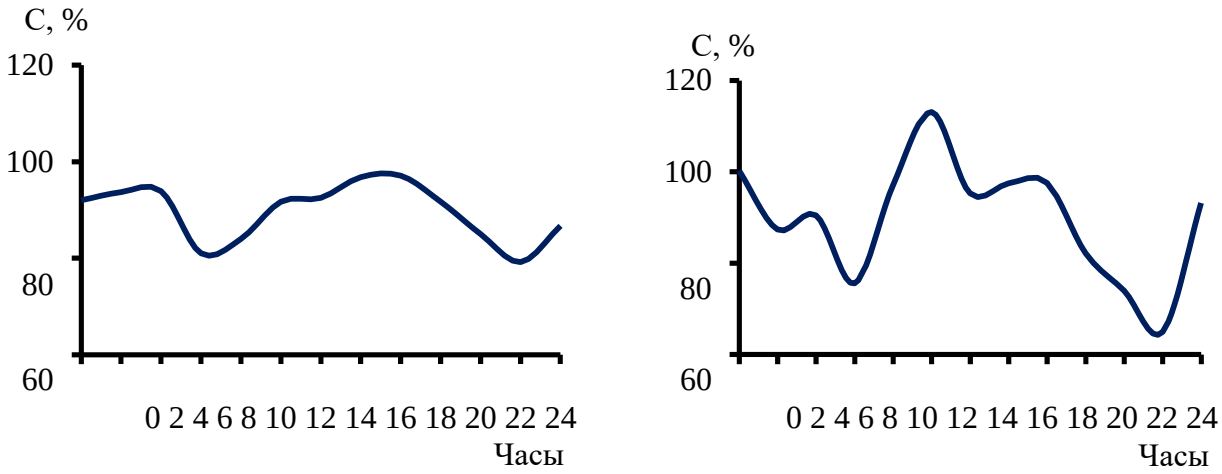


Рис. 1. Суточная изменчивость кислородонасыщения на станции 1м/взм (левый столбец) и на станции 2 м/взм (правый столбец) на устьевом взморье р. Мудьюги 27 августа 2019 года

Увеличение приливной полусуточной изменчивости гидролого-гидрохимических и гидробиологических показателей на границе участков с наличием массовых зарослей водных макрофитов указывает на рост их пространственных градиентов. Это обусловленно заметным уменьшением турбулентного перемешивания речных и морских вод в зарослях галофитов. В таких условиях на границе указанных участков формируется внутриустьевой биогеохимический фронтальный раздел. Он, видимо, характерен только для устьев небольших рек, где объем водообмена между солеными и пресными водами через участки, заросшие макрофитами, может превышать объем водообмена через устьевые русловые водотоки, лишенные растительности. Здесь необходимо отметить, что обширные осушки маршей занятых приморской растительностью являются источниками дополнительного поступления общего азота в устьевые воды [Мискевич и др. 2018]. При этом его концентрации летом превышают концентрации общего азота в речных водах, поступающих в устье реки, и в морских водах на его границе.

Заключение

Необходимо заметить, что исследования таких фронтальных разделов в устьях рек Белого моря практически не проводилось. В устьях больших и средних рек они, видимо, отсутствуют или выражены очень слабо, и в таких устьях фронтальные разделы между речными и морскими водами формируются по сценарию «классического маргинального фильтра» [Лисицын, 1978].

Наличие биогеохимического фронтального раздела в устьях рек на границах с участками, заросшими макрофитами, требует их обязательного учета при проведении прикладных исследований. При оценке экологического состояния устья малой реки и решении природоохранных задач рекомендуется дифференцировано подходить к

биогеохимической характеристике руслового водотока и участков, заросших макрофитами.

Список литературы

Мискевич И.В., Мосеев Д.С. Влияние сообществ макрофитов на ритмику природных процессов на устьевом взморье реки Мудьюга в губе Сухое Море в Белом море. // Труды Архангельского центра РГО. Сборник научных статей. Архангельск, 2019. С. 292-299.

Мискевич И.В., Чульцова А.Л., Мосеев Д.С. Марши мезо-макроприливных эстуариев рек арктической зоны как источник растворенного органического азота для водных экосистем // Естественные и технические науки. 2018. № 4. С.75-81.

Лисицын А.П. Лавинная седиментация и перерывы в осадкообразовании в морях и океанах. М.: Наука.1988. 310 с.

СООБЩЕСТВА ЗООБЕНТОСА ЖЕЛОБА ФРАНЦ-ВИКТОРИЯ И ШЕЛЬФА АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА ПО МАТЕРИАЛАМ ДРЕЙФА НЭС "АКАДЕМИК ТРЁШНИКОВ" ВЕСНОЙ 2019 Г.

Зимина Ольга Леонидовна[1], **Сёмин Виталий Леонидович**[2]
[1] *ФГБУН Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск*
[2] *ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

История изучения зообентоса шельфа морей Арктики насчитывает более 200 лет. При этом северные районы, участки континентального склона и глубоководных желобов, соединяющих Баренцево море с Полярным бассейном, остаются практически неизученными, что обусловлено их труднодоступностью. К таким районам относится и желоб Франц-Виктория, вдающийся в Баренцево море с севера между архипелагами Шпицберген и Земля Франца-Иосифа (ЗФИ), а также северный шельф архипелага ЗФИ. Сообщества внутренней части архипелага и частично прилежащего шельфа описаны довольно подробно [Голиков, Аверинцев, 1977; Аверинцев, 1993; Луппова и др., 1993; Фролова и др, 2011; Фролова и др., 2014]. Накопленные данные по бентосу континентального склона и абиссальных равнин Арктического бассейна российского сектора Арктики систематизированы в работах Б.И. Сиренко [Сиренко и др., 1998] и А.А. Веденина [2017]. Для района континентального склона к северу от Земли Франца-Иосифа распределение донных сообществ построено по весьма фрагментарным данным. Новые данные из указанных помогут уточнить распределение донных сообществ и отдельных видов.

Материал и методы.

В ходе первого этапа экспедиции "Трансарктика 2019" на НЭС "Академик Трёшников" в марте-мае 2019 г. во время дрейфа с ледовым полем через желоб Франц-Виктория и на разрезах к Земле Франца-Иосифа были проведены исследования зообентоса на 24 станциях. Была обследована северная часть желоба Франц–Виктории, а также участки северного и южного шельфа архипелага ЗФИ в диапазоне глубин 120-550 м (рис. 1).

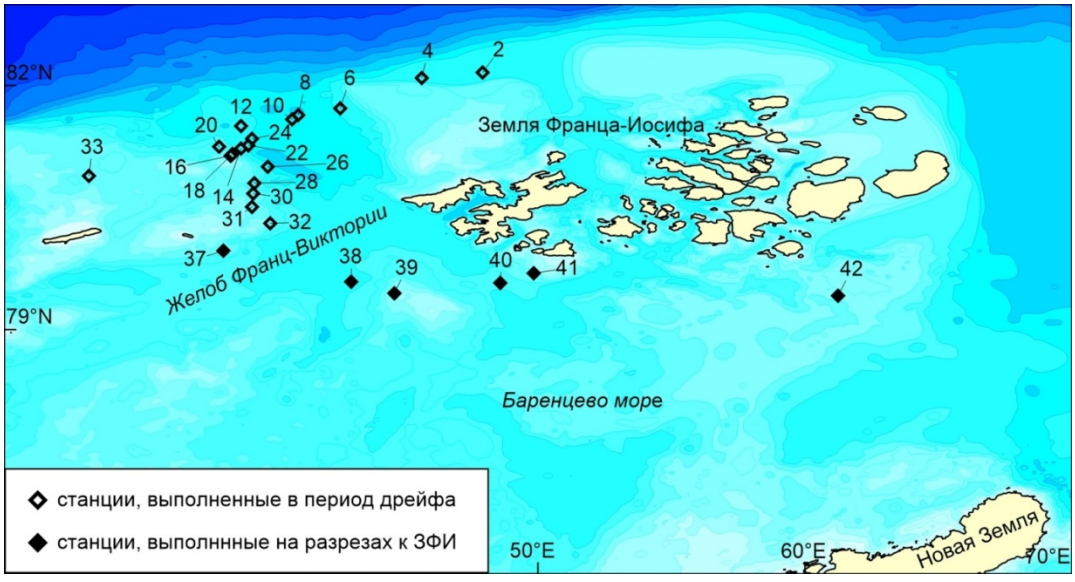


Рис. 1. Карта расположения станций отбора проб зообентоса во время 1 этапа экспедиции "Трансаркика 2019" на НЭС "Академик Трёшников" в марте-мае 2019 г.

Пробы грунта отбирали малым бокс-корером с размером короба 40х40х50 см (площадь пробоотбора 0.16 м^2) в двух повторностях. В ряде случаев из-за тяжелого грунта удалось отобрать только один бокс-корер, пригодный для дальнейшей обработки. Из каждого бокса трубчатым пробоотборником диаметром 0,16 м (площадь пробоотбора 0.0201 м^2) отбирали по одной подпробе. В данной работе для предварительного анализа горизонтального распределения зообентоса в районе исследований использован материал из подпроб. Пробы промывали через сито с размером ячеи 0.5 мм и фиксировали 4% формалином. Через сутки их отмывали от формалина пресной водой и проводили отделение животных от грунта с использованием стереомикроскопа МБС-10, сортировку по таксономическим группам и фиксацию животных 70% этиловым спиртом для дальнейшей обработки по стандартной методике в лаборатории на берегу. В лаборатории проводилась таксономическая идентификация организмов до максимально возможного уровня, подсчет и взвешивание на торсионных весах с точностью 0.001 г. полученные количественные данные пересчитывались на м^2 и усреднялись по 2 пробам. Статистическая обработка данных производилась средствами пакета PAST [Hammer et al., 2001] и Microsoft Excel 2007. При кластерном анализе в качестве меры сходства постанционных видовых списков применялся коэффициент Брэя-Куртиса [Bray, Curtis, 1957]. Характерными для выделенных сообществ считались виды, имеющие в них частоту встречаемости более 50%.

Результаты и обсуждение.

Качественные и количественные данные, приводимые в данной работе, являются в значительной мере предварительными, т.к. использован только материал из подпроб малой площади (трубчатый пробоотборник с площадью пробоотбора 0.0201 м^2). После обработки полных проб всей площади бокс-корера (0.16 м^2) числовые значения будут существенно уточнены.

По результатам таксономической обработки материалов в исследованном районе идентифицировано 300 таксонов донных беспозвоночных. Доминирующими по биоразнообразию группами являются Polychaeta (142 таксона) и Crustacea (60 таксонов). Характерной чертой фауны района является высокая специфичность фауны относительно фауны открытой части Баренцева моря и наличие ряда видов, обитающих в Полярном бассейне и поднимающихся в данном районе на относительно малые глубины (180-500 м). К таким видам относятся ракообразные *Chauliopleona armata*, *Halice abyssi*, *Haploniscus bicuspis*, *Oecidiobranchus plebejum*, полихеты *Melinnopsis arctica*, двустворчатые моллюски *Yoldiella annenkovae* и другие.

Видовое богатство на станциях варьировало от 30 до 77 таксонов на станцию при среднем значении 50±2 таксона на станцию. Среднее значение плотности поселения беспозвоночных составило 2300±160 экз./м^2, меняясь от 1600 до 3900 экз./м^2. Биомасса варьировала от 5 до 590 г/м^2 при среднем значении 60±25 г/м^2. Наиболее богатые поселения отмечены на склонах желоба и шельфе архипелага ЗФИ на глубине менее 200 м на смешанных грунтах. В ложе желоба на глубинах свыше 300 м количественные показатели снижены (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики станций и количественные показатели зообентоса

Станция	Координаты		Глубина, м	Температура, °С	Биомасса, г/м^2	Плотность поселения, экз./м^2	Видовое богатство
	N	E					
2	82.159	47.933	182	Нет данных	7.943	1617	43
4	82.090	45.635	197	Нет данных	13.674	2239	52
6	81.714	42.579	385	0.17	5.005	1766	51
8	81.636	41.012	400	0.06	17.420	1617	45
10	81.581	40.798	412	0.01	13.709	1617	39
12	81.497	38.877	445	0.09	25.311	1418	41
14	81.222	38.865	430	0.18	12.264	1816	49
16	81.137	38.486	344	0.67	12.246	1891	45
18	81.158	38.548	375	0.28	24.331	1940	51
20	81.243	38.044	366	0.68	14.915	1891	52
22	81.262	39.148	454	0.14	15.306	2413	61
24	81.340	39.290	450	-0.18	9.485	1244	30
26	80.997	39.875	553	0.16	11.187	1816	41
28	80.800	39.365	256	Нет данных	7.886	2040	46
30	80.669	39.327	206	Нет данных	27.731	3134	48
31	80.508	39.285	160	Нет данных	53.378	3881	57
32	80.305	39.962	201	-1.19	40.488	2488	40
33	80.888	33.175	183	-1.36	20.408	2836	49
37	79.968	38.217	190	-1.54	145.206	3632	70
38	79.586	43.009	337	-0.01	7.448	1692	40
39	79.447	44.607	126	-1.68	590.356	3806	77
40	79.572	48.591	286	-0.14	107.540	2687	59
41	79.694	49.830	155	-1.8	224.953	3184	67
42	79.417	61.229	195	-0.76	54.144	1318	33

Методом кластерного анализа в пределах исследованного района выделено 2 типа сообществ зообентоса.

Первый тип формируется на склонах желоба Франц-Виктория и на шельфе ЗФИ на глубинах до 300 м (станции 2, 4, 28-42). Для этих районов характерна отрицательная температура придонных вод, смешанный илисто-песчаный донный осадок, часто с примесью каменного материала и крупного песка. Здесь встречено 206 таксонов беспозвоночных (52±4 таксона на станцию). Среднее значение биомассы составило 100±45 г/м^2, численности – 2600±230 экз./м^2. Доминирующими видами являются двустворчатые моллюски *Astarte sp.*, полихеты *Spiochaetopterus typicus, Maldane sarsi, Praxillura longissima, Spiophanes kroyeri*. Характерными, маркирующими комплекс, но не доминирующими, являются полихеты *Heteromastus filiformis, Galathowenia oculata, Dipolydora coeca, Scoloplos acutus, Euchone analis, Maldane arctica, Praxillella praetermissa*, двустворчатые моллюски *Yoldiella nana, Dacrydium vitreum и Mendicula ferruginosa,* офиуры *Ophiocten sericeum.*

Второй тип сообществ отмечен в ложе желоба Франц-Виктория на глубине более 300 м, на мягких коричневых илах при слабоположительной температуре придонных вод (станции 6-26). Повышение температуры на больших глубинах в ложе желоба свидетельствует о затоке глубинных атлантических вод. Здесь отмечено 166 таксонов беспозвоночных (46±2 таксона на станцию). Средняя биомасса 15±2 г/м^2, плотность поселения 1800±100 экз./м^2. Доминирующими по биомассе являются полихеты *Spiochaetopterus typicus, Aglaophamus*

malmgreni, *Spiophanes kroyeri*, *Abyssoninoe abyssorum*. При этом численные значения биомассы доминирующих видов *Spiochaetopterus typicus* и *Spiophanes kroyeri*, доминирующих и в предыдущем, в 2 раза ниже. Характерными видами являются сипункулиды *Nephasoma minutum*, полихеты *Minuspio cirrifera, Sphaerephesia artabrensis, Proclea graffi, Eclysippe vanelli, Aricidea abranchiata, Melinnopsis arctica*, ракообразные *Ektonodiastylis nimia, Chauliopleona armata, Harpinia mucronata, Haploniscus bicuspis, Oecidiobranchus plebejum, Halice abyssi*, двустворчатые моллюски *Yoldiella annenkovae, Bathyarca pectunculoides*. Характерной чертой является наличие глубоководных видов, обитающих в Полярном бассейне (полихеты *Melinnopsis arctica,* ракообразные *Chauliopleona armata, Haploniscus bicuspis, Oecidiobranchus plebejum, Halice abyssi*, двустворчатые моллюски *Yoldiella annenkovae*), а также значительная доля тепловодных атлантических видов. Это связано с тем, что желоб с одной стороны непосредственно связывает северную часть Баренцева моря с Полярным бассейном, а с другой является путём поступления глубинных тёплых атлантических вод, что и отражается на качественном составе сообществ.

Работа выполнена в рамках госзаданий ММБИ РАН (О.Л. Зимина), ИО РАН (В.Л. Семин).

Литература:

Аверинцев В.Г. Сообщества мелководий Земли Франца-Иосифа // Окружающая среда и экосистемы Земли Франца-Иосифа. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1977 . – С. 142-171.

Веденин А.А. Донная фауна сибирского сектора Арктики: состав, распределение сообществ, вертикальная зональность: Дисс. канд. биол. наук: 03.02.10. М., 2017. – 214 с.

Луппова Е.Н., Анисимова Н.А., Денисенко Н.В., Фролова Е.А. Донные биоценозы Земли Франца-Иосифа // Окружающая среда и экосистемы Земли Франца-Иосифа. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1977 . – С. 118-142.

Сиренко, Б.И., Иванова, Е.П., Бакунина, И.Ю., Недашковская, О.И., Горшкова, Н.М., Михайлов, В.В., Ащепкова, Л.Я. Морская фауна Арктики (по экспедициям Зоологического института РАН) // Биология моря, 1998. – 24(6) . – С. 341-350.

Фролова Е.А., Любина О.С., Зимина О.Л., Дикаева Д.Р., Фролов А.А., Ахметчина О.Ю., Гарбуль Е.А., Нехаев И.О. Донные сообщества у берегов арктических архипелагов // Наземные и морские экосистемы. – М.: Paulsen, 2011. – С. 181–209.

Фролова Е.А., Ахметчина О.Ю., Гарбуль Е.А., Дикаева Д.Р., Зимина О.Л., Любина О.С., Нехаев И.О., Пантелеева Н.Н., Фролов А.А. Бентосные сообщества архипелага Земля Франца-Иосифа // Труды Кольского научного центра РАН, 2014. – № 4. – С. 179–222.

Bray J.R., Curtis J.T. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. // Ecol. Monogr. – 1957. – Vol. 27. – P. 325–349.

Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D., 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis // Paleontologia Electronica. – Vol. 4, № 1. – P. 9–15.

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ПОСЕЛЕНИЙ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ *MYA ARENARIA* L. В БЕЛОМ МОРЕ: НОВЫЕ ДАННЫЕ И ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ.

Малова Диана Сергеевна, Герасимова Александра Владимировна, Максимович Николай Владимирович, Филиппова Надежда Андреевна
Санкт-Петербургский Государственный Университет, Биологический факультет

Введение

Уже не одно десятилетие (более 30 лет) сотрудниками и студентами кафедры ихтиологии и гидробиологии Санкт-Петербургского Государственного Университета проводятся наблюдения за динамикой структуры нескольких поселений песчаных ракушек *Mya arenaria* L. в акваториях Керетского архипелага (Кандалакшский залив, Белое море). Благодаря способности к формированию плотных доступных для изучения поселений, малой подвижности и относительно большой продолжительности жизни эти моллюски оказываются удобными модельными объектами в популяционном анализе. В результате проведенных исследований отмечена значительная пространственно- временная гетерогенность структуры беломорских поселений песчаных ракушек, обусловленная смещениями уровня пополнения поселений молодью, скорости роста и смертности моллюсков (Герасимова и др., 2019). Предполагалось, что межгодовые колебания объемов ежегодного пополнения поселений мий определены как напряженностью внутривидовых отношений моллюсков, так и особенностями выживания спата в первую зиму. В обнаруженных отличиях скорости группового роста *M.arenaria* в разных поселениях наиболее логично было видеть отражение различий условий питания моллюсков вследствие особенностей биотопов (например, гидродинамических условий) (Gerasimova et al., 2016). Основанием для предложенных объяснений пространственно- временной гетерогенности структуры поселений песчаных ракушек послужили: 1) многолетние (более 10 лет) перерывы в успешном пополнении поселений молодью на фоне благоприятных условия для размножения песчаных ракушек в изучаемой акватории и практически ежегодное присутствие их личинок в составе летнего планктона; 2) совпадение по времени появления в поселениях значительного количества молоди и существенной элиминации к этому моменту представителей прежде доминирующих генераций; 3) выявленная асинхронность развития нескольких поселений мий, когда в один и тот же сезон в разных местообитаниях данного вида доминировали представители разных генераций; 4) значительная элиминация спата (даже до 100 %) в течение первого года жизни; 5) наиболее медленный рост на участках, в донных отложениях которых отмечено наибольшее содержание мелкозернистых фракций (алевриты и пелиты).

Однако наблюдения за отдельными поселениями песчаных ракушек были начаты в разные годы, и периоды исследований не всегда совпадали. Отсюда возникла идея данного исследования: в один сезон (лето 2019 года) в ходе серии разовых наблюдений описать разнообразие размерно-возрастного состава поселений песчаных ракушек в однотипных местообитаниях и соответственно проверить надежность ранее высказанных гипотез.

Таким образом, целью данной работы являлось выявление закономерностей в пространственно-временной организации плотных поселений *M.arenaria* в типичных для

данного вида местообитаниях на основании анализа размерно-возрастной структуры поселений и линейного роста моллюсков.

Материал и методы

Основной материал собран летом 2019 года на Учебно-Научной Базе Санкт-Петербургского Государственного университета на четырех участках илисто-песчаной литорали Кандалакшского залива. Поселения *M.arenaria* на участках 1 и 2 (губа Лебяжья и губа Яковлева) – объекты долговременного мониторинга, осуществляемого сотрудниками и студентами кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ. Регулярные наблюдения за поселениями песчаных ракушек на участках 3 (бухта Сельдяная) и 4 (губа Никольская) не проводились, относительно плотные агрегации мий здесь были обнаружены в результате разовых обследований акваторий. На всех участках песчаные ракушки были собраны вместе с другими представителями донной биоты с помощью пирамиды выборочных площадок 0,01- 0,25 м2 (5-10 –кратная повторность). На участке 1 (г. Лебяжья) пробы были взяты отдельно в среднем (СГЛ) и нижнем (НГЛ) горизонтах литорали. На остальных участках сбор материала произведен только в среднем горизонте литорали. В данную работу также были включены материалы, собранные сотрудниками и студентами кафедры ихтиологии и гидробиологии по аналогичной схеме в губе Лебяжья (участок 1) в 2014-2018 гг.

Моллюсков в пробах измеряли с точностью до 0,1 мм и определяли их возраст в результате анализа внешней морфологии раковины (если было возможно) и внутренних ростовых меток – по шлифованным спилам раковин. В последнем случае левые створки раковин (с хондрофором) были распилены от вершины к наиболее удаленному краю, спилы отшлифованы и отполированы. Под бинокуляром подсчитывали количество меток роста на спилах хондрофора. Всего таким образом были обработаны раковины 18 особей, пойманных на участке 3.

Закономерности роста *Mya arenaria* в анализируемых местообитаниях изучены в результате анализа групповых (средних) возрастных рядов, составленных по итогам измерения размеров раковины моллюсков в периоды «зимних» остановок роста. Сравнение возрастных рядов осуществлено в ходе анализа остаточных дисперсий относительно кривых роста (Максимович, 1989). В качестве модели роста использована линейная модификация уравнения Берталанфи.

По итогам наблюдений за динамикой возрастной структуры в поселениях песчаных ракушек обоих горизонтах литорали на участке 1 в 2014-2019 гг. были составлены таблицы выживания.

На всех участках летом 2019 года были взяты пробы грунта для определения гранулометрического состава и содержания органических веществ.

Результаты и обсуждение

Выбранные для исследования участки (литоральные илисто-песчаные пляжи) представляли типичные для песчаных ракушек местообитания в Белом море. Основу гранулометрического состава грунта на всех полигонах составляла песчаная фракция (65-80%), главным образом представленная мелким песком. Наибольшее содержание мелкодисперсных фракций размером менее 0,1 мм (алевриты и пелиты) отмечено в донных отложениях участка 3 (28 %), наименьшее (около 6 %) – на участке 2. Кроме того грунт участка 3 отличался и максимальным содержанием органических веществ (2,6 %), значительно превышающим аналогичные величины на других исследуемых участках (0,5-

1,8 %). *M.arenaria* доминировали по биомассе во всех анализируемых биотопах (от 72 до 94 % суммарной биомассы сообществ).

Летом 2019 года анализируемые поселения *M.arenaria* существенно различались по размерно-возрастному составу. На двух участках (1 и 3) основу поселений составили представители генерации 2013 года (особи размерами 25-45 мм). Так, поселение песчаных ракушек в бухте Сельдяная (участок 3) на 56% состояло из шестилетних особей, что было подтверждено сопоставлением внешних и внутренних меток роста. На участках 2 и 4 больше 80 % численности поселений приходилось на особей старших возрастов (размерами 50-70 мм). К сожалению, определить точный возраст этих моллюсков не удалось, однако им несомненно было более 6 лет и большая часть, по-видимому, относилась к одной генерации (анализ размерного распределения и внешней морфологии раковины). Характерно, что в рассматриваемых местообитаниях сеголетки (молодь прошлого года) либо практически отсутствовали (участки 1, 4), либо составляли малую часть поселения (участки 3, 2).

Песчаные ракушки генерации 2013 года играли значительную роль в поселениях обоих вертикальных горизонтов участка 1 и в течение последних 6 лет (2014-2019 гг.). В этот период динамика размерной структуры данных поселений во многом являлась отражением динамики генерации 2013 года и межгодовых смещений численности сеголеток. Последние в анализируемый промежуток времени обнаружены в значительном количестве только в 2014 и 2018 гг. При этом появление в массе сеголеток в 2014 году отмечено на фоне существенного снижения численности представителей других поколений.

Таким образом, для всех рассматриваемых поселений песчаных ракушек оказалось весьма характерно доминирование в течение нескольких лет (по крайней мере, на протяжении 5-6 лет) представителей отдельных генераций. Последнее, очевидно, представляет закономерный итог межгодовых смещений в уровне пополнения поселений *M.arenaria*, что неоднократно указано для скоплений данного вида как в Белом море, так и в других частях ареала. Обнаружение в массе сеголеток только в условиях снижения численности других генераций, проявления в структуре анализируемых поселений как асинхронности, так и синхронности развития дают основание предположить существенную роль в межгодовых колебаниях уровня пополнения поселений песчаных ракушек внутривидовых отношений и особенностей выживания спата в первую зиму. Доминирование на участках 1 и 3 летом 2019 года представителей одного и того же поколения (синхронность развития поселений) вполне могло быть результатом благоприятных условий для выживания особей поколения 2013 года в течение первого года в обоих относительно близко расположенных местообитаниях.

Изменения численности генерации 2013 года в СГЛ и НГЛ участка в 2014-2019 гг. послужили основой для создания когортных таблиц выживания. Аналогичные таблицы уже были построены для этих же поселений по итогам наблюдений за судьбой представителей другого поколения – генерации 1988 года (Герасимова и др., 2019). Следует отметить, что выявленные показатели смертности и выживаемости разных поколений в губе Лебяжья оказались весьма похожи. Так в НГЛ наибольшая смертность представителей генерации 2013 года отмечена в возрасте одного года (44 % в год), в возрасте 4-5 лет скорость элиминации моллюсков была минимальна. Параметры построенных кривых выживания для обеих генераций также не имели значимых различий. По-видимому, и объяснения межгодовых колебаний в уровне элиминации поколения 2013

года могут быть аналогичны предложенным для генерации 1988 года. Так, повышенная смертности мий на начальных этапах жизненного цикла могла быть в основном определена обитанием моллюсков в поверхностном слое грунта (нестабильная среда, высокая смертность нежизнеспособных особей, влияние хищников).

Для анализа вариабельности группового роста песчаных ракушек в рассматриваемых местообитаниях также выбраны представители генерации 2013 года. Они были обнаружены во всех местообитаниях, причем в двух оказались наиболее массовыми. Немаловажной причиной выбора данной группы было и то обстоятельство, что возраст этих моллюсков (6 лет) достаточно уверенно можно было определить по внешней морфологии раковины.

Средние ростовые показатели *Mya arenaria* генерации 2013 года в разных поселениях существенно различались – длина раковины шестилетних особей варьировала от 32 мм (НГЛ участка 1) до 41 мм (СГЛ участка 4). В результате проведенного сравнения групповых возрастных рядов было показано, что скорость роста песчаных ракушек в двух поселениях (СГЛ в бухте Сельдяная и НГЛ в губе Лебяжья) была немного ниже, чем в других исследуемых местообитаниях. На данном этапе анализа данное обстоятельство трудно интерпретировать. Отмеченное различие могло быть результатом неравнозначности сравниваемых выборок по объему. В поселениях в бухте Сельдяная и нижней литорали губы Лебяжья песчаные ракушки анализируемого поколения были наиболее многочисленны, соответственно построенные групповые возрастные ряды представляли наиболее взвешенные данные. Так, на участке 3 средний ряд построен по результатам измерения 47 особей, на участке 1 (НГЛ) – 30. Объемы выборок из остальных местообитаний всего 7-8 особей. Однако по итогам анализа характера грунта априори можно было предположить, что мии из бухты Сельдяной (участок 3) должны отличаться относительно низкой скоростью роста по сравнению с другими поселениями. На участке 3 отмечены относительно высокая доля мелкозернистых фракций (частиц размером менее 0,1 мм) и высокое содержание органических веществ в донных осадках. Такие параметры характеризуют местообитание с относительно низкой интенсивностью гидродинамики. Интенсивность гидродинамики является косвенным, но относительно надёжным показателем условий питания фильтраторов-сестонофагов, к которым относятся песчаные ракушки. Остается понять, как в одной группе с миями из бухты Сельдяная оказались моллюски из нижнего горизонта литорали губы Лебяжья, где характеристики донных отложений практически не отличались от остальных местообитаний.

Заключение

Таким образом, результаты проведенных исследований практически полностью соответствовали итогам прежде выполненных наблюдений и не дали нам оснований предложить иные объяснения пространственно-временной гетерогенности структуры беломорских поселений *M.arenaria*. Поселения песчаных ракушек в каждом местообитании отличались оригинальными чертами размерно-возрастного состава, формирование которого, по-видимому, определено внутривидовыми отношениями моллюсков, локальными условиями выживания молоди в течение первого года жизни, а также биотопическими особенностями линейного роста мий.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ 18-05-60157.

Благодарность

Искренняя признательность руководству Учебно-научной базы «Беломорская» за предоставленную возможность сбора материала

Список литературы

1. *Максимович, Н.В.* Статистическое сравнение кривых роста // Вестник Ленинградского университета. Серия 3. 1989. Вып. 4. № 24. С. 18-25.

2. *Герасимова, А.В., Максимович, Н.В., Филиппова, Н.А., Малова, Д.С.* Двустворчатые моллюски *Mya arenaria* L. как модельный объект в демэкологии: динамика структуры поселений, смертность и рост в Белом море // Труды VIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU – 2019). Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2019. С. 274-277.

3. *Gerasimova, A.V., Martynov, F.M., Filippova, N.A., Maximovich, N.V.* Growth of *Mya arenaria* L. at the northern edge of the range: heterogeneity of soft-shell clam growth characteristics in the White Sea // Helgoland Marine Research. 2016. Vol. 70. N 6. P. 1-14.

БАЗА ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МОРЯХ РОССИИ: ЦЕЛИ СОЗДАНИЯ, ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Михлина Анна Леонидовна[1,2], Семенова Марина Ивановна[1], Кокорин Александр Игоревич[1], Коновалова Ольга Петровна[1], Шурыгина Анастасия Алексеевна[1], Шабалин Николай Вячеславович[1]

[1] *ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова»*

[2] *Беломорская биологическая станция имени Н.А. Перцова*

Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов является важным компонентом концепции устойчивого развития. Сохранение морских экосистем также входит в глобальные целевые задачи, сформулированные в Конвенции о биологическом разнообразии, стороной которой является в т.ч. Россия. Ключевую роль в усилиях по достижению этой цели играет организация системы многолетних наблюдений за состоянием компонентов природной среды морей, морского экологического мониторинга. Понимание процессов, происходящих в Мировом океане, позволяет в том числе прогнозировать возможные изменения климата в будущем, оценивать связанные с этим риски и планировать действия по предотвращению и минимизации негативных последствий. Россия обладает обширной морской акваторией, поэтому информация о состоянии российских морских экосистем является одним из ключевых моментов для понимания глобальных процессов, происходящих в океане.

Государственная система мониторинга, организованная в РФ, не имеет должного охвата, данные, представляемые каждый год, включают информацию далеко не по всем морям, а также не являются комплексными: в большинстве случаев исследуются лишь гидрохимические показатели, данные по гидробиологии представлены только для двух морей
— Балтийского и моря Лаптевых. Данные российских научных исследований, посвященных изучению состояния морских экосистем, зачастую публикуются только в русскоязычных журналах, что делает их труднодоступными для мировой научной общественности. Таким образом, морские экосистемы России с глобальной точки зрения в значительной степени представляются «белым пятном».

В последние годы ООО “ЦМИ МГУ” был выполнен большой объем работ по мониторингу состояния окружающей среды в морях России. В результате этих исследований был накоплен значительный массив данных, включающий описание биоты исследуемых районов, гидрологические и гидрохимические показатели, результаты исследования донных отложений, токсикологические данные. Благодаря своему комплексному характеру, подробности, широкому пространственному охвату подобный материал представляет большую аналитическую ценность. Однако долгое время эти данные находились в разрозненном состоянии, непригодном для автоматизации их обработки. С ростом объемов наблюдений за изменением природных условий появилась необходимость объединить данные в единый формат, удобный для анализа общих и частных вопросов.

В результате был запущен большой проект по консолидации имеющихся данных в единую базу, включающую наиболее полную и разностороннюю информацию о состоянии

планктонных и бентосных сообществ, гидрологических и гидрохимических характеристиках и свойствах донных отложений в морях России.

На настоящий момент таблицы, готовые к импорту в базу данных, содержат структурированную и унифицированную информацию по 36 проектам, выполненным в 2017- 2019 годах на акваториях Баренцева, Печорского, Карского, Охотского, Чукотского и Черного морей с точной географической привязкой. База имеет иерархическую структуру. Самым высоким уровнем (первым) является таблица-реестр проектов, которая служит своего рода каталогом наборов данных (датасетов), с информацией о каждом из них (например, о районе работ). На втором уровне располагается таблица станций отбора проб, связанная с реестром 1 уровня через поле «Код проекта» (каждый проект рассматривается как отдельный датасет). В таблице станций содержится информация об их координатах, НИС, дате и времени работы на станции, общей глубине, глубине слоя скачка, слоя максимальной флуоресценции и промежуточного слоя, прозрачности воды, характере выполненных работ, методах (орудия лова, объем или площадь пробы и т.д.), количестве отобранных со станции проб для того или иного вида исследования. Каждой станции присваивается уникальный номер по принципу составного классификатора, который позволяет однозначно определить её принадлежность к одному из датасетов.

Через поле «Номер станции» с таблицей второго уровня связаны таблицы данных по каждому из видов исследований:

- гидрологии (течения, соленость, температура);
- гидрохимии (pH, БПК, содержание биогенов, загрязняющих веществ и т.д.);
- исследованиям донных осадков (гранулометрический состав грунта, содержание загрязняющих веществ, в т.ч. тяжелых металлов);
- гидробиологии (численность, биомасса и видовой состав планктонных и бентосных сообществ, концентрация хлорофилла А, первичная продуктивность и т.д.).

Эти таблицы составляют третий, основной уровень базы.

Для наполнения базы были разработаны шаблоны с учетом характера ретроспективных и перспективных данных, а также для автоматической интеграции новых сведений.

В настоящее время доступ к информации, содержащейся в базе, предоставляется по запросу.

В качестве дальнейшей перспективы мы видим в первую очередь согласование порядка раскрытия информации, разработку механизма импорта больших объемов данных в базу, создание инструментов обработки пользовательских запросов к базе и автоматизации анализа данных, а также интеграцию данных из базы с геоинформационными системами. Также ценным направлением развития нам кажется пополнение базы данными из открытых источников для расширения охвата и аналитических возможностей.

Одним из перспективных направлений развития базы данных является повышение ее научной ценности и цитируемости. Решением этой задачи является публикация данных в виде датасетов в международной системе GBIF, а также написание статей по данным (data paper), содержащих информацию о том, как информация была получена (в т.ч., как был собран материал и т.д.). Опубликованные в системе GBIF датасеты, так же, как и статьи по данным, получают собственный идентификатор — DOI, и могут быть процитированы исследователями в своих статьях, если эти данные были использованы для их работы.

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ СООБЩЕСТВ НЕМАТОД В СЕЗОННЫХ ЛЬДАХ БЕЛОГО МОРЯ

Тимченко Анна Игоревна, Портнова Дарья Андреевна
Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва

Введение

В Белом море морской лед, по разным оценкам, образуется с ноября и может просуществовать до середины мая, тогда как в годы с теплыми зимами период становления ледяного покрова может значительно сократиться, и продлиться всего лишь 3-3,5 месяца (Думанская, 2014). Морской лёд представляет собой не сплошной монолит, а систему кристаллов, между которыми имеются соединённые друг с другом полости, заполненные солёной водой. Таким образом, лёд пронизан системой капилляров, внутри которых находится рассол (Weissenberger et al. 1992). Полости сообщаются с морской водой на нижней поверхности льда. Эта трёхмерная система полостей и каналов шириной около 200 мкм является жизненным пространством для нематод и других микроскопических организмов (Gradinger et al. 1999). В прибрежных льдах Белого моря много внимания было уделено исследованию ледовой флоры и бактериопланктона (Sazhin, 2004; Сажин и др., 2012; Ratkova, Wassmann, 2005; Ильяш и др., 2012), тогда как сообщество нематод, обитающих во льдах, остаются малоизученными (Чесунов, 2006; Чесунов, Портнова, 2005). Свободноживущие нематоды были обнаружены в большом количестве во льдах Арктики и иногда представляют собой доминирующую группу многоклеточных, населяющих лед (Gradinger, 1999). В настоящее время существует несколько гипотез о колонизации льда бентосными организмами (Bluhm et.al., 2009). Однако, механизм попадания нематод в морской лед до настоящего времени остается загадкой (Чесунов, 2006).

Целью данной работы было изучить численность, видовой состав и вертикальное распределение свободноживущих нематод в морском льду. Важной задачей было определить, как нематоды проникают в лёд.

Материалы и методы

Материал для работы был собран в акватории пролива Великая Салма в Кандалакшском заливе, в районе Беломорской биологической станции (ББС МГУ), в январе и феврале 2020 года (Рис.1). Отбор проб морского льда, воды, осадка и талломов водорослей проводился на пяти станциях. Всего было отобрано 17 ледовых кернов. По форме припай подразделялся на серо-белый, переходящий к тонкому однолетнему. Керны льда были отобраны при помощи титанового бура с диаметром режущего кольца 14 см. Керны были разрезаны на слои по 10 см. Также пробы льда были отобраны на разных стадиях формирования в поверхностном и в придонном слоях. Начальные виды льда были представлены ниласом, толщиной 0-10 см, местами шугой и снежурой. Сбор материала осуществлялся с помощью ведра или черпака. Полученные пробы использованы для учёта численности всех групп организмов, населяющих лёд. На каждой станции измерялись: высота снежного покрова, толщина льда, температура и соленость подледной воды. Пробы воды были отобраны в поверхностном, глубинном и придонном слоях с помощью батометра SBE (3.5 литра). Для учета колебаний уровня моря в бухте ББС был установлен мареограф (логгер) RBR virtuoso^{3}D, частота записи 1 Гц. Пробы осадка для количественного анализа нематод были отобраны на литорали во время отлива с помощью трубчатого пробоотборника. В лаборатории материал промывался на ситах с ячеёй

500, 250, 125, 63, 40 и 20 мкм. Пробы планктона были отобраны с помощью сети Джеди с площадью входного отверстия 0,005м^2 и ячеёй фильтрующего конуса 80×80 мкм от глубины до поверхности. Сбор макрофитов происходил на литорали при образовании тонкой корки льда и с нагроможденных обломков льда – ледяных шатров.

Образцы морского льда растапливали при комнатной температуре. Полученную талую воду концентрировали на фильтр 0.6 мкм и фиксировали 4% раствором формалина и DESS (диметилсульфоксид с хлоридом натрия и EDTA-Na2). В лаборатории пробы были окрашены красителем «Бенгальская роза», затем просматривались под бинокуляром в камере Богорова. Отобранные экземпляры нематод перекладывались в жидкость Зайнхорста (70 частей дистиллированной воды, 29 частей 95% этанола и 1 часть глицерина) (Seinhorst, 1959) и помещались в постоянные препараты с парафиновым кольцом. После этого нематоды были определены до вида под микроскопом Olympus BX41.

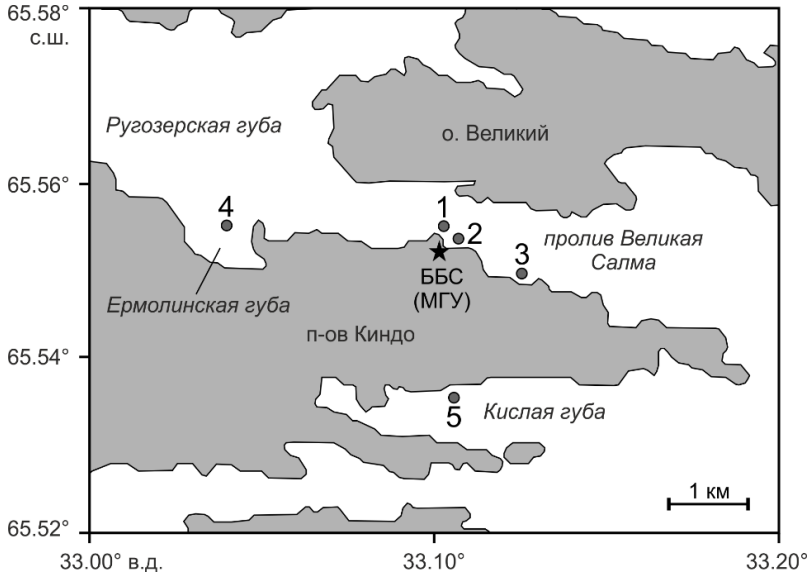


Рисунок 1. Карта района исследования. Серые круги обозначают расположение места сбора проб. Цифрами обозначены номера станций.

Результаты

В исследуемый период толщина льда изменялась от 2 до 54 см, толщина снежного покрова составляла 4–11 см. Температура подледной воды изменялась в пределах -1.6 – (-)0.8 ^{0}C, и была на уровне или ниже точки замерзания. Соленость составляла 20.2–26.3 psu (Табл.1). Температура в столбе воды колебалась в среднем от -1.6 до -1.2 ^{0}C. Производились ежесекундные измерения уровня моря в бухте ББС. В течение исследования наблюдался правильный полусуточный прилив, с двумя полными и малыми водами в течении суток. Общий размах уровня составлял 2 м. Помимо прилива, наблюдалось общее понижении уровня на 60 см, предположительно вызванное сгонными ветрами. Численность нематод во льду изменялась от 122.7 до 8954.7 экз/м^2. В планктоне были обнаружены нематоды, их численность достигала 75.5 экз/м^3. Показатели общей численности нематод в осадке колебались от 86 (станции 4 и 5) до 1172 экз/10 см^2 (станции 1 и 3). Плотность поселения в обрастаниях на макрофитах *Fucus vesiculosus* Linnaeus, 1753 составляла 620 экз/10 см^2 (Табл. 1). В январе популяция нематод изменялась от 18.0 до 8954.7 экз/м^2, максимум особей было обнаружено на станции 4 и 1 в Ермолинской губе. В феврале самым высоким обилием нематод было 4804.8 экз/м^2 на станции 4 и 3, а самым низким 245.3 экз/м^2 на станции 2 и 3. В пробах

ниласа, толщиной 2-3 см, численность нематод изменялась 122–184 экз/м^2; в снежуре, отобранной на литорали от дна до поверхности черпачком, численность составляла 147.2 экз/м^2. В однолетних льдах была обнаружена максимальная плотность популяции нематод в самом нижнем слое льда 0-10 см (6095 экз/м^2).

Таблица 1. Характеристики ледовых станций. Обозначения: D – глубина, м; ТВ – температура воздуха, ^{o}C; ТС – толщина снега, см; ТЛ – толщина льда, см. Нематоды – численность нематод во льду, в планктоне, осадке и на макрофитах.

Станция	Дата	D	ТВ	ТС	ТЛ	Подледная вода		Нематоды			
						T, ^{o}C	S, psu	Лёд экз/м^2	Планктон экз/м^3	Осадок экз/см^2	Макрофиты экз/см^2
1-1	20.01.20	0.4	-6.0	–	–	-1.3	23.6	147.2			
1-2	21.02.20	0.5	-11.0	4	7	-1.4	24.0	315		1621	
1-3	21.02.20	0.7	-11.0	4	10	-1.4	23.9	2475.6		1178	620
2-1	21.01.20	3.0	-4.9	–	0.3	-1.4	25.7	184.0			
2-2	21.01.20	2.7	-4.9	–	0.2	-1.3	20.2	122.7			
2-3	19.02.20	2.9	-3.1	5	16	-1.2	26.3	245.3	13		
2-4	19.02.20	2.8	-3.0	4	22.5	-1.3	23.6	250.9	17.3		
3-1	20.01.20	0.6	-3.9	3.5	7	-1.3	24.7	18.0			
3-2	18.02.20	1.2	-0.9	5	13	-1.4	25.3	2269.3			570
4-1	20.01.20	2.0	-0.6	9	35	-1.0	25.1	8954.7			
4-2	20.01.20	2.1	-0.8	10	33	-1.2	25.0	2637.3			
4-3	20.02.20	2.3	-12.0	11	53	-1.6	23.2	4804.4	75.5		
4-4	21.02.20	2.6	-11.5	11.5	48	-1.3	25.2	2821.3	55		
4-5	21.02.20	0.4	-11.0	11	51	-1.3	24.1	3434.7		86	
5-1	20.02.20	2.8	-4.5	5.5	24	-1.3	23.2	2514.7			
5-2	20.02.20	3.2	-5.0	4.5	25	-1.4	24.5	2330.7			

Результаты исследований по видовому составу морских нематод на пяти станциях в Белом море показали, что всего было обнаружено 817 экземпляров нематод, из них 693 особей во льду, 202 в осадке, 5 штук в толще воды и 67 нематод на талломах водорослей. Во льду до уровня рода определено 460 особей нематод, принадлежащих к 6 родам и 3 семействам. В осадке были идентифицированы 22 рода нематод, принадлежавшие к 14 семействам. На талломах водорослей было обнаружено 6 родов нематод (Табл. 2). В сезонном прибрежном льду были обнаружены нематоды *Halomonhystera* sp., *Daptonema* sp., *Theristus melnikovi*, *Cryonema crassum*, *Cryonema tenue* и *Hieminema obliquorum*. Доминировали в сообществе прибрежного льда нематоды из двух родов: *Halomonhystera* и *Daptonema*. Эти роды были представлены всеми стадиями: ювенильные особи, самки и самцы. Ледовые нематоды, относящиеся к видам *Theristus melnikovi* и *Hieminema obliquorum* были представлены самками и самцами. Ледовые нематоды вида *C. crassum* были представлены только самками за весь период исследования, тогда как у *C. tenue* были отмечены ювенили в феврале. Во льду были обнаружены самки с кладкой яиц. Из-за сохранности материала, трудно определить к какому роду относятся нематоды, но по нашим предположениям это *C. crassum*. В осадке доминировали представители *Axonolaimus*, *Anoplostoma* и *Sabatieria*. При исследовании размерного спектра больше всего нематод в осадке принадлежали к размерной фракции 125-250 мкм. На макрофитах был обнаружен пресноводный род нематод *Pratylenchus*, а доминировали представители рода *Halomonhystera*.

Таблица 2. Список видов свободноживущих нематод в морском льду, планктоне, осадке и на макрофитах. +/- – присутствие/отсутствие.

Семейство	Род	Лёд	Планктон	Осадок	Макрофиты
Anoplostomatidae	*Anoplostoma* sp.	–	+	+	–
Axonolaimidae	*Axonolaimus* sp.	–	–	+	–
Chromadoridae	*Chromadorita* sp.	–	+	+	–
Monhysteridae	*Cryonema tenue*	+	–	–	–
Monhysteridae	*Cryonema crassum*	+	–	–	–
Cyatholaimidae	*Cyatholaimus* sp.	–	–	+	–
Xyalidae	*Daptonema* sp.	+	–	+	+
Chromadoridae	*Dichromadora* sp.	–	–	+	–
Ironidae	*Dolicholaimus* sp.	–	–	+	–
Monhysteridae	*Halomonhystera* sp.	+	–	–	+
Monhysteridae	*Hieminema obliquorum*	+	–	+	–
Leptosomatidae	*Leptosomatides* sp.	–	–	+	–
Desmodoridae	*Metachromadora* sp.	–	–	+	+
Xyalidae	*Metadesmolaimus* sp.	–	–	+	–
Microlaimidae	*Microlaimus* sp.	–	–	+	–
onoposthiidae	*Monoposthia* sp.	–	–	+	–
Desmodoridae	*Metachromadora* sp.	–	–	+	–
Axonolaimidae	*Odontophora* sp.	–	–	+	–
Oncholaimidae	*Oncholaimus* sp.	–	–	+	+
Cyatholaimidae	*Paracyatholaimus* sp.	+	+	–	+
Oncholaimidae	*Pontonema* sp.	–	–	+	–
Comesomatidae	*Sabatieria* sp.	–	–	+	–
Desmodoridae	*Spirodesma* sp.	–	–	+	–
Xyalidae	*Theristus melnikovi*	+	+	–	+
Xyalidae	*Theristus* sp.	–	–	+	–
Desmodoridae	*Chromadoropsis* sp.	–	–	+	–
Oncholaimidae	*Viscosia* sp.	–	–	+	–
Pratylenchidae	*Pratylenchus* sp.	–	–	–	+

Обсуждение

Характерной особенностью фауны морского льда в арктических морях является наличие свободноживущих нематод (Nozais et al., 2001). По результатам работы были получены данные, подтверждающие наличие нематод в прибрежных льдах Белого моря. Обилие нематод в морском льду возрастало с января по февраль 2020 г. Максимум численности отмечалось в нижнем десятисантиметровом слое льда, что было характерно для других районов исследований в морях арктического бассейна и Белом море (Сажин, 2012; Bluhm et.al, 2018). В исследуемый период обилие нематод во льду было выше, по сравнению с предыдущими исследованиями в море Лаптевых, Баренцевом море и проливе Фрама в весенне-летний период (Friedrich, 1997; Shünemann, Werner, 2005). Однако, в припае моря Баффина численность нематод намного превышала (70 тыс экз/м^2) (Wiktor, Szymelfenig, 2002). В начальных типах льдах были обнаружены половозрелые особи *T. melnikovi*, тогда как в донном льду отмечались единичные экземпляры из рода *Halomonhystera.* Нематода *Halomonhystera* в Белом море представлена двумя видами *H. disjuncta* и *H. socialis,* которые обитают на обрастаниях (Tchesunov et.al, 2004). Два вида нематод *C. crassum* и *C. tenue* были обнаружены во льду на станции 4, в губе Ермолинская. В вершину губы впадает небольшой ручей. Ранее вид *C.*

crassum был обнаружен в осадке моря Лаптевых, в местах значительного влияния речного стока реки Лена (Portnova et al., 2019). Нематоды вида *Hieminema obliquorum* были обнаружены во льду и в осадке, максимальная численность отмечена в Кислой губе. Нематоды рода *Daptonema* были найдены как во льду, так и на зарослях макрофитах. Присутствие *Daptonema* было отмечено ранее в многолетних льда в проливе Фрама (Tchesunov, Riemann 1995). Однако, максимум обилия представители этого рода, достигали только во льду с включениями водорослей. Было отмечено, что нематоды в Белом море способны к миграции и могут находиться в толще воды для последующего расселения (Краснова, Воронов, 2011). По результатам данной работы в толще воды были найдены нематоды, обитающие в осадке.

Температура воды подо льдом в период исследований была на уровне точки замерзания (-1-1.6C^0). Это свидетельствуют об интенсивном конвективном перемешивании. Уплотнение поверхностных вод и образование начальной стадии льда происходит за счет понижения температуры воды, а затем в результате осолонения льда. Под воздействием колебания уровня моря и ветров на супралиторали образовываются нагромождения обломков льда, в них могут вмерзать макрофиты. Таким образом, предполагаемый способ заселения льда свободноживущими нематодами в приливно-отличной зоне заключается в переходе организмов из осадка в лед во время контакта льдины и грунта. Заселение нематодами льда происходит в самом начале процесса льдообразования.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19–05–00128. Авторы выражают благодарность аспиранту и м.н.с. Института Океанологии им П.П. Ширшова лаборатории Цунами им. С.Л. Соловьева Куликову М.Е. за помощь при сборе материала и предоставление данных по учету колебаний уровня моря.

Список литературы

Думанская И.О. Ледовые условия морей европейской части России. – М.; Обнинск: ИГ–СОЦИН, 2014. – 608 с.

Ильяш Л.В., Житина Л.С., Кудрявцева В.А., Мельников И.А. Сезонная динамика видового состава и биомассы водорослей в прибрежных льдах Кандалакшского залива Белого моря // Журнал Общей Биологии, 2012, том 73, № 6, с. 459–470.

Романенко Ф.А., Репкина Т.Ю., Ефимова Л.Е., Булочникова А.С. Динамика ледового покрова на приливных берегах белого моря // Вестн. Моск. Ун-Та Сер. 5. География. 2012. № 4 С. 61-66.

Краснова Е. Д., Воронов Д. А. Водный перенос свободноживущих нематод в Белом море // Нематоды естественных и трансформированных экосистем. — Карельский научный центр РАН Петрозаводск:, 2011. — С. 62–65.

Сажин А.Ф., Ратькова Т.Н., Мошаров С.А., Романова Н.Д Мошарова И.В., Портнова Д.А. Биологические компоненты сезонного льда // Биологические ресурсы Белого моря: изучение и использование. СПб., 2012. С. 97–115.

Чесунов А.В, Портнова В.А. 2005. Свободноживущие нематоды в сезонном прибрежном льду Белого моря. Описание Hieminema obliquorum gen. et sp. n. (Nematoda, Monhysteroidea) // Зоол. журн. Т. 84, № 8. С.899-914.

Чесунов А.В. 2006. Биология морских нематод. М.: Тов.научн. изд. КМК. 367с.

Bluhm, B. A., Gradinger, R. and Schiel, S. (2009): Sea Ice Meio- and Macrofauna, In: Sea Ice - an Introduction to its Physics, Biology, Chemistry and Geology, 2nd edition. Eds. Thomas, D. and Dieckmann, G. examine and analyze brine pockets and channel structure. Limnology and Oceanography, 37, 179– 183.

Bluhm, B. A., Hop, H., Vihtakari, M., Gradinger, R., Iken, K., Melnikov, I. A., et al. (2018). Sea ice meiofauna distribution on local to pan-Arctic scales. Ecol. Evol. 8, 2350–2364.

Friedrich, C. (1997) Ecological investigations on the fauna of the Arctic sea ice. Berichte zur Polarforschung, 246, 1–211 (in German).

Gradinger, R. (1999) Integrated abundance and biomass of sympagic meiofauna in Arctic and Antarctic pack ice. Polar Biology, 22, 169–177.

Gradinger, R., Friedrich, C., & Spindler, M. (1999). Abundance, biomass and composition of the sea ice biota of the Greenland Sea pack ice. Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 46, 1457– 1472.

Nozais, C., Gosselin, M., Michel, C. & Tita, G. (2001) Abundance, biomass, composition and grazing impact of the sea ice meiofauna in the North Water, northern Baffin Bay. Marine Ecology Progress Series, 217, 235–250.

Portnova D., Fedyaeva M.A., Udalov A.A., Tchesunov A.V. (2019) Community structure of nematodes in the Laptev Sea shelf with notes on the lives of ice nematodes // Regional Studies in Marine Science V. 31. P. 1–11.

Ratkova, T. N., Wassmann, P. (2005). Sea ice algae in the White and Barents seas: composition and origin. Polar Research, 95-110.

Sazhin A. (2004). Phototrophic and heterotrophic nano- and microorganisms of sea ice and subice water in Guba Chupa (Chupa Inlet), White Sea, in April 2002 // Polar Res. Vol. 23. P. 11–18.

Schünemann, H., & Werner, I. (2005). Seasonal variations in distribution patterns of sympagic meiofauna in Arctic pack ice. Marine Biology, 146, 1091−1102.

Seinhorst, J. W. "A rapid method for the transfer of nematodes from fixative to anhydrous glycerine," Nematologica 94, 67–69 (1959).

Tchesunov A.V, Riemann F. (1995). Arctic sea ice nematodes (Monhysteroidea), with descriptions of Cryonema crassum gen. n., sp. n. and C. tenue sp. n. Nematologica 41:35–50

Tchesunov, A. V., Portnova, D. A., and Van Campenhout, J. (2015). Description of two free-living nematode species of Halomonhystera disjuncta complex (Nematoda: Monhysterida) from two peculiar habitats in the sea. Helgoland Mar. Res. 69, 57–85.

Weissenberger, J., Dieckmann, G., Gradinger, R. & Spindler, M. (1992) Sea ice: a cast technique to examine and analyze brine pockets and channel structure. Limnology and Oceanography, 37, 179–183.

Wiktor, J. and M. Szymelfenig. 2002. Patchiness of sympagic algae and meiofauna from the fast ice of North Open Water (NOW) Polynya. Pol. Polar Res., 23(2), 175–184.

ВНУТРИВИДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗМЕЕХВОСТОК *OPHIURA SARSII* LÜTKEN, 1855 В ПРЕДЕЛАХ АРКТИЧЕСКОГО И ТИХООКЕАНСКОГО БАССЕЙНОВ

Стратаненко Екатерина Алексеевна, Назарова София Александровна, Смирнов Игорь Сергеевич
ГБУН Зоологический институт РАН (ЗИН РАН, Санкт-Петербург)

Змеехвостка *Ophiura sarsii* – распространённый в Арктике и Северной Пацифике вид, который встречается в широком диапазоне глубин (3-3000 м), на различных грунтах, как при отрицательных (до -1.7°C) так и при положительных (до +4.0°C) температурах. Разнообразие условий обитания *O. sarsii* определяет его фенотипический полиморфизм. Форма, наиболее отличающаяся от типичной по строению папилл дискового выреза, была описана А.М. Дьяконовым (1954) для небольших глубин Японского моря (40-50 м) как новый подвид *Ophiura sarsii* f. *vadicola*. В отличие от *O. sarsii* для *Ophiura sarsii* f. *vadicola* характерны более удлиненные, с небольшой перетяжкой и заостренным концом папиллы дискового выреза. Радиальные щитки преимущественно округлой формы, их ширина, как правило, равна длине (Рисунок 1). А.М. Дьяконов высказывал предположение о возможности выделения данного подвида в самостоятельный вид (1954). По наблюдениям одного из авторов предложенные Дьяконовым признаки у данных форм градиентно меняются в пределах рассматриваемого ареала, и выявление подвидов сильно осложняется недостаточной изученностью морфологической изменчивости у данного вида.

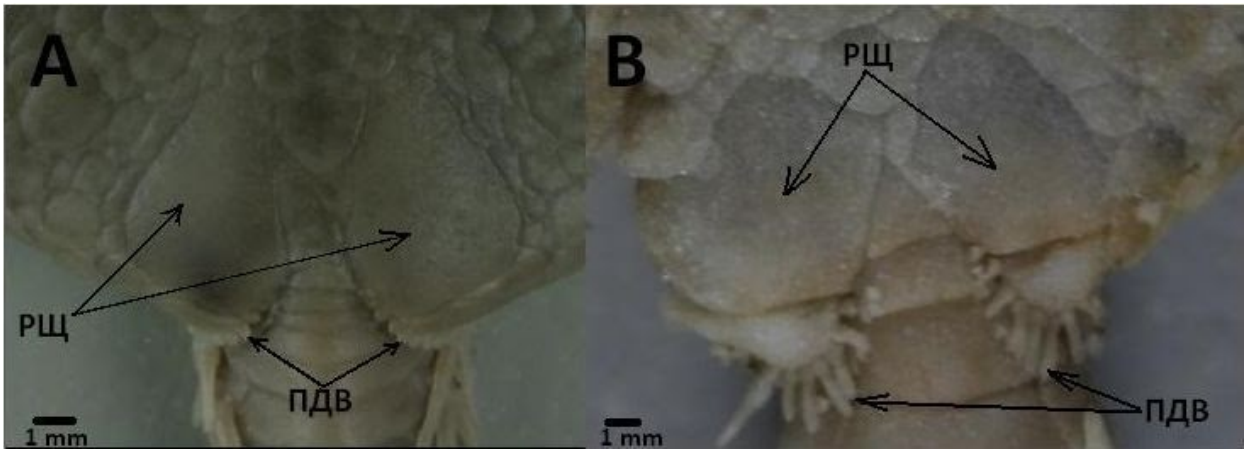


Рисунок 1. Морфологические отличия *Ophiura sarsii* (A) и ее подвида *Ophiura sarsii* f. *vadicola* (B). РЩ – радиальные щитки, ПДВ – папиллы дискового выреза.

Цель настоящей работы - изучение морфологической изменчивости географически разобщенных популяций *O. sarsii*.

Для морфологического анализа из разных популяций в морях Тихого и Северного Ледовитого океанов было отобрано 118 экземпляров *O. sarsii* с размерами диска от 4 до 27 мм: 10 из Японского моря (глубина 173 м), 10 из Охотского моря (глубина 155 м), 22 из Берингова моря (глубина 71 м), 45 из Баренцева моря (глубины 10, 84, 136, 150, 178, 258 и 319 м), 11 из моря Лаптевых (глубина 32 и 38 м) и 20 из Восточно-Сибирского моря (глубины 38, 39 и 48 м). Сравнение анализируемых особей *O. sarsii* проводили по наиболее изменчивым для этого вида внешним таксономическим признакам: форме радиальных и ротовых щитков, длине и форме папилл дискового выреза.

У экземпляров с диаметром диска больше 12 мм радиальные щитки имеют сходную каплевидную форму, как правило, они крупные и широко отстоят друг друга (Рис. 2, А). У более мелких особей радиальные щитки плотно прилегают друг к другу у основания лучей, их форма может варьировать от почти овальной до каплевидной, при этом длина щитка всегда превосходит его ширину (Рис. 2 В).

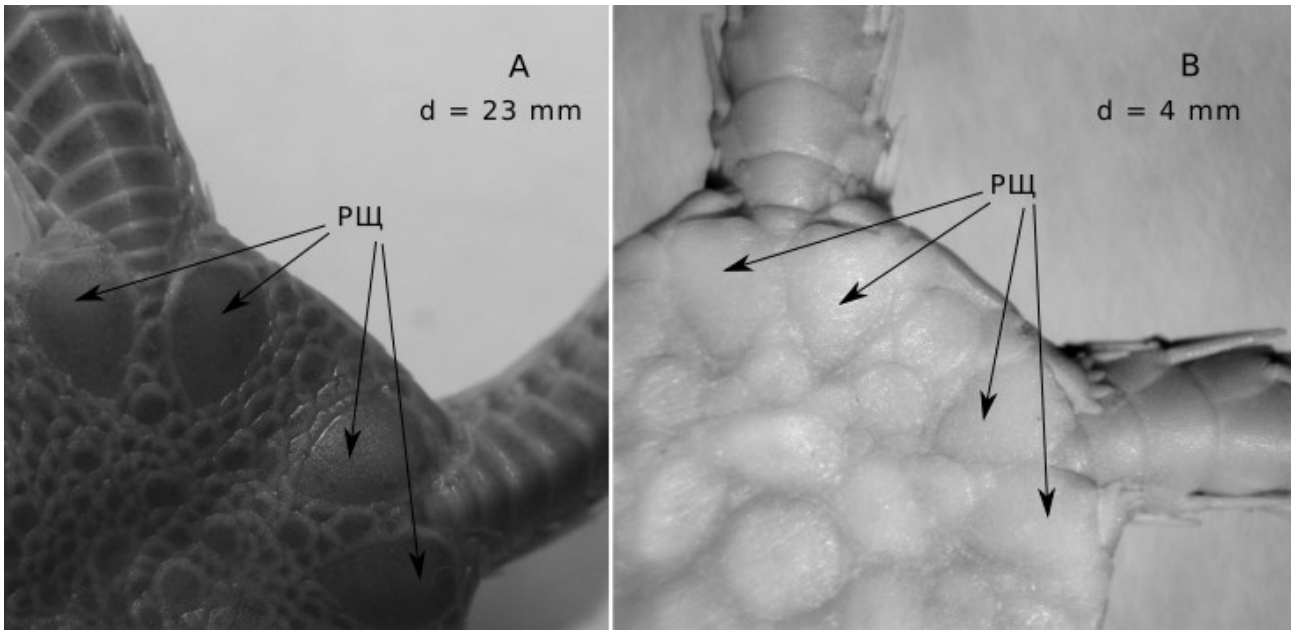


Рисунок 2. Изменение формы ротовых щитков (РЩ) у змеехвосток *Ophiura sarsii* разного размера. Представлены образцы *O.sarsi typica* из Японского моря.

Существенных различий в форме ротовых щитков не выявлено, за исключением некоторого удлинения щитка у более крупных экземпляров. Данная закономерность наблюдалась в каждой из рассматриваемых выборок, поэтому, по всей видимости, изменение формы обусловлено размером особи, а не приуроченностью к тому или иному месту обитания.

При сравнении формы и размеров папилл дискового выреза оказалось, что для всех анализируемых особей, обитающих в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском, Беринговом и Охотском, типичными являются мелкие, почти овальные папиллы, которые плотно прилегают друг к другу. В популяциях *O. sarsii* из Японского и Баренцева морей встречается несколько вариантов данного признака. В Японском море у особей с диаметром диска от 4 до 11 мм наряду с мелкими, овальными папиллами также отмечены более разобщенные и треугольные папиллы. У баренцевоморских экземпляров выявлено как минимум 3 варианта формы папилл: мелкие и овальные; слегка удлиненные и утонченные с овальной верхушкой; невысокие заостренные с характерными зазорами между ними. При этом отличия в форме и размерах папилл у баренцевоморских офиур наблюдались как внутри одной выборки, так и между экземплярами с разных станций, независимо от размера особи и глубины отбора проб. Таким образом, можно предварительно заключить, что наиболее характерным паттерном морфологической изменчивости *O. sarsii* в пределах рассматриваемого ареала являются форма и размер папилл дискового выреза.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-ГФЕН 19-54-53028 и государственного задания АААА-А19-119020690072-9.

СУБГАЛОКЛИННЫЕ ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ

Ежова Елена Евгеньевна, Кочешкова Ольга Владимировна, Багиров Низами Эйнал оглы

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

Введение

Характерной особенностью бентали Балтийского моря является её отчетливая вертикальная зональность, обусловленная изменением содержания растворенного кислорода с глубиной и стратификацией водной толщи, в частности, наличием перманентного галоклина на глубине 50–80 м. Состояние зообентоса глубоководных районов в значительной мере определено затоками соленых, богатых кислородом североморских вод. В межзатоковые периоды содержание кислорода снижается, вызывая оскудение глубоководных сообществ, порой до полного исчезновения макрофауны. В Юго-Восточной Балтике (ЮВБ) эти явления характерны для Гданьской и Готландской впадин и района Гданьско-Готландского порога. Мелководный и глубоководный участки бентали разделены транзитной зоной (Elmgren 1978), начинающейся с глубин 50-60 м, что соответствует залеганию перманентного галоклина. С этого горизонта и глубже бенталь в ЮВБ характеризуется гипоксией и населена специфическим типом «субгалоклинных» донных сообществ, бедных качественно и количественно (Оленин, 1987).

Цель данной работы: оценка состава и структуры субгалоклинных донных сообществ в российской экономический зоне в Южной Балтике (Гданьский и Восточно-Готландский бассейны).

Данные и методы

Для анализа использованы материалы нескольких рейсов АО ИОРАН за 2015-2020 гг. в Юго-Восточной Балтике. Бентос отбирали утяжеленным дночерпателем Ван-Вина (0.1 м^2), обычно в 3 повторностях, промывали на капроновом сите №15 и обрабатывали по рекомендованным для Балтийского моря методикам (Manual.., 2017). Всего проанализировано около 80 проб. Перед пробоотбором выполняли зондирование водной толщи многоканальным зондом Idronaut (температура, соленость, плотность, хлорофил-а, % насыщения кислородом).

Результаты

Анализ данных по видовому составу, количественным показателям, структуре сообществ зообентоса, встречавшихся в районе исследования в диапазоне глубин 80-120 м, показал, что в районе Гданьско-Готландского порога (80-90 м), на южном склоне Готландской впадины (100-120 м), а также в Гданьской впадине на глубинах до 112 м, возможно встретить 4 характерных состояния донных сообществ (Табл. 1): 1. отсутствие макрофауны; 2. сообщество с доминированием полихет *Scoloplos armiger* и *Bylgides sarsi*; 3. сообщество *S. armiger*; 4.сообщество *Astarte borealis.*

По нашим данным, на дне Гданьской впадины (гл. до 112 м) за весь период исследования практически не было отмечено организмов макро- или мейобентоса, за исключением весенней съемки 2019 г., когда в пробах были обнаружены единичные живые организмы, а не их остатки Отмечены брюхоногий моллюск *Hydrobia sp*., ювенилы двустворки *Mya arenaria*, особи полихет *Marenzelleria spp.,* олигохеты и нематоды. Средние численность и биомасса составили 35 экз./м^2 и 0,07 г/м^2 (табл. 1). Крайне низкие значения подтверждают отсутствие здесь

сформированных, стабильно функционирующих сообществ бентоса. Единичные мелкие особи, очевидно, представляют собой экспатов, вынесенных из более высоких горизонтов со склона впадины. Тем не менее, нахождение представителей указанных видов в живом состоянии, свидетельствует об аэробных гипоксийных условиях на дне котловины в весенний период 2019 г.

Таблица 1. Характеристики субгалоклинного зообентоса в ЮВБ по данным 2015-2019 гг

Дата	Биомасса г/м^2	Численность экз/м^2	Число видов	Глубины опробования	Доминанты
Гданьская впадина / Гданьско-Готландский порог					
X 2015	0	0	0	97	Макрофауны нет
VI 2016	0/-	0/-	0/-	100-96/-	Макрофауны нет/ *Scoloplos armiger, Bylgides sarsi*
VI-VII 2017	0	0	0	100/83	Макрофауны нет/ *S. armiger*
VII 2018	0/<1,0	0/20	0/3	112/80	*Marenzelleria arctia*, *Mytilus edulis*, Oligohaeta
X 2018	0	0	0	100/81	Макрофауны нет
V 2019	0,07	35	5	111	Единичные особи (ювен. *M.edulis. L.balthica*, Ostracoda)
VII 2019	0	0	0	112/-	Макрофауны нет
Южный склон Готландской впадины,					
X 2015	2.2	30	4	103-112	*Scoloplos armiger*
VI 2016	-	-	-	109	*Scoloplos armiger*
VI-VII 2017	-	-	-	102-107	*Scoloplos armiger, Bylgides sarsi*
VII 2018	2.2	30	4	100-103	*H. spinulosus* (+Ostracoda, Nematoda, Hydrozoa)
X 2018	0	0	0	120-112	Макрофауны нет
V 2019	32,3	287	7		Hydrozoa+ *Astarte borealis*
VII 2019	26,4	217	6	101/104-106	*Astarte borealis* + Hydrozoa / нет фауны

- нет данных

Первые признаки существования бентосного сообщества, представленного, как правило, ювенильными стадиями двустворок, мейобентосными организмами или полихетами, толерантными к низкому содержанию кислорода. отмечаются на склонах Гданьской впадины (переходящей в Гданьско-Готландский порог), на глубинах 80-83 м, однако они весьма нестабильны, исчезают по мере расходования кислорода в придонном горизонте и появляются вновь при изменении гилрологической ситуации.

Характерными для глубоких вод Юго-Восточной Балтики можно считать можно два, сообщества макробентоса: 1. Сообщество с доминированием полихет *Scoloplos armiger* и *Bylgides sarsi* (табл 2); 2. Сообщество *S. armiger* (табл 3).

Для обоих обычны низкие биомасса и численность. Более разнообразный видовой состав наблюдается в сообществе *Scoloplos armiger+Bylgides sarsi* (табл 2), где также могут присутствовать ракообразные *Dyopedos monacanthus, Monoporia affinis,* моллюск *Limecola* (*Macoma*) *balthica*, приапулида *Halicryptus spinulosus,* гидроидные полипы а также крупные нематоды и остракоды. По мере ухудшения кислородных условий, из сообщества постепенно выпадают более оксифильные виды и оно переходит в сообщество *S. armiger*, состоящее часто только из двух видов макробентоса, а в самом крайнем случае представленное лишь одним сколоплосом (табл. 3).

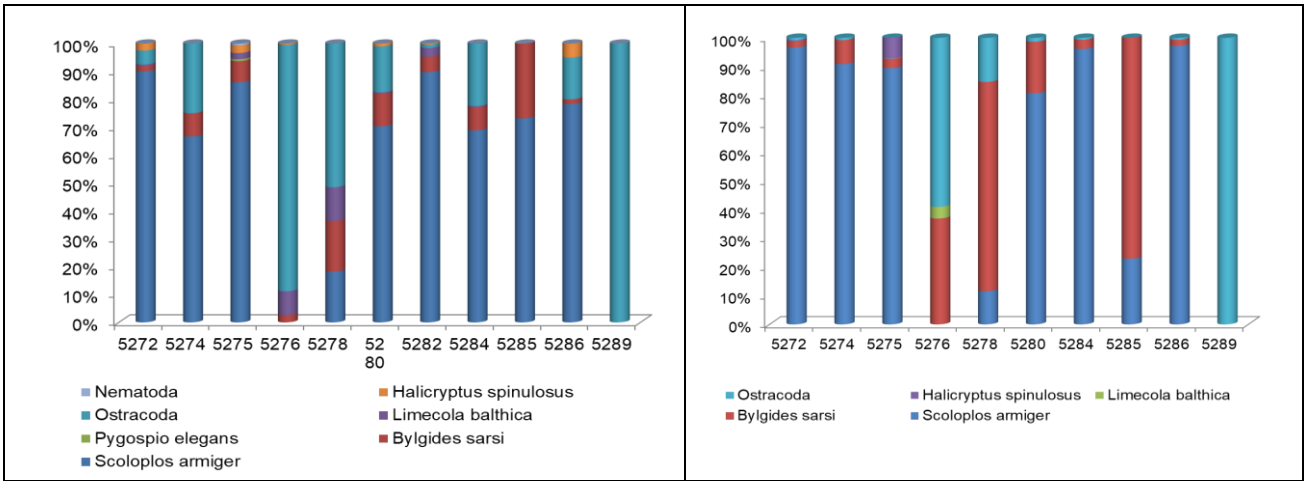
Таблица 2. Характеристики субгалоклинного сообщества с доминированием *Scoloplos armiger* и *Bylgides sarsi* в Юго-Восточной Балтике, октябрь 2015

Виды, группы	Биомасса, г/м^2	Частота встречаемости, %
Bylgides sarsi	0,08	70
Scoloplos armiger	*1,57*	*75*
Halicryptus spinulosus	0,04	30
Astarte borealis	0,37	5
Mytilus edulis	0,03	5
Ostracoda	0,01	70
Всего	**2,09**	

Таблица 3. Характеристики субгалоклинного сообщества с доминированием *Scoloplos armiger* в Юго-Восточной Балтике, октябрь 2015.

Виды, группы	Биомасса, г/м^2	Частота встречаемости, %
Bylgides sarsi	0,07	100
Scoloplos armiger	*3,31*	*100*
Ostracoda	0,001	20
Всего	**3,38**	

Структура сообщества на различных станциях в районе Гданьского =Готландского порога и южной оконечности Готландской впадины, показана на рис. 1



А Б

Рис. 1 Структура зообентоса на Гданьско-Готландском пороге и южном склоне Готландской впадины по численности (А) и биомассе (Б), октябрь 2015, 64 рейс НИС «Академик М. Келдыш», цифрами на оси Х обозначены номера судовых станций

В периоды (или в участках) максимального содержания кислорода, один из компонентов сообщества – двустворки *Astarte borealis*, может выходить на позиции субдоминанта и доминанта. Такая ситуация складывается на южном склоне Готландской впадины в районе т.н. канала Хобург, где наблюдается активная придонная гидродинамика. За период наших исследований здесь периодически отмечали аэробные условия на глубинах 100-106 м, и довольно продуктивное, хотя и бедное видами, сообщество макробентоса с доминированием моллюска *Astarte borealis* и гидроидных полипов (табл. 4). Включает 5-6 видов, и характеризуется численностью 290-217 экз./м^2; биомассой 32,3-26,4 г/м^2. Оно оставалось стабильным по показателям в течении 2019 г., что в совокупности с данными по размерному составу *A.borealis* (L 1.3-2.5 см) позволяет сделать вывод об устойчивости сообщества и длительно, более 2 лет, сохраняющихся аэробных условиях. Начиная с глубин 104-106 м макробентоса здесь не найдено, отмечено присутствие сероводорода.

Таблица 4 Характеристики сообщества с доминированием *Astarte borealis* в Юго-Восточной Балтике, август 2019

Виды, группы	Численность экз/м^2	Доля от N, %	Биомасса, г/м^2	Доля от B, %
Nematoda	20	9	0,0005	0
Hydrozoa indet.	0	0	4,54	17,23
Bylgides sarsi	10	5	0,03	0,11
Scoloplos armiger	33	15	0,01	0,03
Astarte borealis	*140*	*64*	*21,76*	*82,56*
Macoma sp., juv.	3	2	0,01	0,04
Mytilus edulis, juv.	13	6	0,01	0,04
Всего	**220**	**100**	**26,36**	**100,00**

Заключение

Таким образом, Гданьская впадина характеризуется в настоящий период отсутствием сообществ макробентоса, для Гданьско-Готландского порога и южного склона Готландской впадины характерно существование типичного балтийского субгалоклинного сообщества *Scoloplos armiger+Bylgides sarsi.,* при ухудшении кислородных условий редуцирующееся до одновидового сообщества *S. armiger* или «мертвой зоны». На южном склоне Готландской впадины в районе канала Хобург рвзвивается сообщество с доминированием *A.borealis*.

Финансирование

Сбор материала поддержан бюджетным финансированием в рамках госзаданий ИОРАН № 0149 - 2019 – 0008 и № 0149-2019-0013, анализ – № 0149 - 2019 – 0008.

Благодарности

Авторы признательны Н.С. Молчановой (АОИОРАН) за помощь в обработке проб, а также всем сотрудникам лаборатории морской экологии АОИОРАН, принимавших участие в сборе материала.

Список литературы

Оленин С. Материалы по исследованию зообентоса в советском секторе юго-восточной Балтики в 1981-1983 гг. // Региональная гидрометеорология. – Вильнюс. – 1987. – т. 13. – с.75-80.

Elmgren R. Structure and dynamics of Baltic benthos communities, with particular reference to the relationship between macro and meiofauna // Kieler Meeresforschungen. - 1978. – Sonderheft 4. – P. 1-21.

Manual for Marine Monitoring in the COMBINE Programme of HELCOM 2017// https://helcom.fi/media/publications/Manual-for-Marine-Monitoring-in-the-COMBINE-Programme-of-HELCOM.pdf

СЕЗОННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ МАССОВЫХ ВИДОВ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ В ДИНАМИЧНОЙ СРЕДЕ ЛИТОРАЛИ ГУБЫ КИСЛОЙ БЕЛОГО МОРЯ.

Залота Анна Константиновна[1], Спиридонов В. А.[1], Мокиевский В. О.[1], Цетлин А. Б.[2]

[1]Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва

[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

[3] Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва 119071

Введение

Организмы, обитающие на литорали, адаптированы к изменчивым условиям среды. Они имеют высокий диапазон толерантности к перепадам температуры, солёности и других. Особенностью литоральной системы является её пограничное положение между морем и сушей, что предполагает включение организмов, обитающих на литорали, как в морские, так и наземные трофические цепи. При таких изменчивых условиях и особенно в полярных морях с резко выраженной сезонностью первичного продуцирования естественно предположить, что в течение года могут меняться и источники органического вещества, которые доминируют на литорали, а с ними питание оседлых организмов.

В данной работе изучается сезонная динамика изотопных («трофических») ниш массовых видов двустворчатых моллюсков (*Macoma balthica, Mya arenaria* и *Mytilus edulis*), гастропод (*Littorina* spp.) и червя-пескожила (*Arenicola marina*) с открытой песчаной литорали Белого моря.

Анализ изотопного состава азота и углерода (соотношения $^{13}C/^{12}C$ и $^{15}N/^{14}N$) позволяет получить интегрированную во времени информацию о трофических связях организмов и поэтому широко используется в изучении структуры трофических сетей в наземных и в водных сообществах [Post, 2002, Layman et al., 2012].

Методы и место сбора

Модельным районом исследования является литораль Кислой Губы, Белого Моря, где были проведены предварительные работы по выявлению потенциальных источников органического вещества [Залота и др. 2018]. Это небольшой мелководный залив, который характеризуется относительно однородным составом донных отложений и отсутствием стратификации водной толщи. Литоральный бентос сходен по всей площади литорали губы и представлен сообществом (типичным для беломорской литорали) *Arenicola marina* (пескожил), с относительно небольшим количеством обычных видов бентосной флоры и фауны, что значительно упрощает изучение трофической структуры местного сообщества по сравнению с открытым побережьем Белого моря.

Сбор материала производился в северном куту губы (66.536476 с.ш., 33.087276 в.д.) (Рис. 1). На литорали был заложен разрез с тремя точками сбора – нижняя, у уреза воды во время отлива с остатком 0.3 (D1), средняя (D2), и верхняя литораль (D3) (Рис. 1**)** на границы обитания пескожилов и балянусов. Эти точки были выбраны в соответствие с ранее проведенными там работами предварительного анализа изотопной структуры бентосного сообщества литорали [Залота и др. 2018]. Разрез находится на участке берега открывающегося в пролив Великая Салма, осадки представлены слабо заиленным песком и отдельными валунами, постоянная аккумуляция выбросов непосредственно на участке разреза отсутствует. Вблизи разреза проходит постоянный сток пресной воды, однако при увеличении количества атмосферных осадков он растекается по большей части литорали. Полоса стока пресной воды визуально

отличается от остального пляжа отсутствием бугорков пескожилов и толстым, рыжим налетом бактериальной пленки летом.



Рисунок 1. Положение и картосхема Губы Кислая в Белом море и распределение горизонтов сбора на литорали D1 – нижняя литораль; D2- средняя литораль; D3 – верхняя литораль.

Пробы были собраны в конце июня, сентябре и декабре 2018 г., в марте и в мае 2019 г. Список изучаемых видов состоял из основных видов двустворок (*Macoma balthica, Mytilus edulis,* и *Mya arenaria*), гастропод (*Littorina* spp.) и пескожила (*Arenicola marina*). В отдельные сезоны, не все виды могли быть обнаружены, не всегда был доступ к нижней и верхней литорали.

У животных, по возможности, были отобраны мышцы. У крупных гастропод использовали ногу, предварительно промытую и очищенную скальпелем. Крупные черви отчищались от наружного покрова (щетинок, бактериального налета) и выдавливалась вся внутренняя система. Весь материал был высушены до постоянного веса, перетерт и упакован в оловянную фольгу (по 200-500 микрограмм).

Изотопный анализ был проведен с помощью изотопного масс-спектрометра Thermo Delta V Plus и элементного анализатора Thermo Flash 1112 в Центре коллективного пользования при Институте проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН. Значения $\delta^{13}C$ у образцов с массовым отношением C/N выше 4 были скорректированы для учета концентрации липидов с использованием уравнения [Post et al., 2007].

Результаты и обсуждение

Для сравнения сезонных изменений питания организмов был произведен анализ по методике SIBER, предложенной Джексоном и др. [Jackson et al., 2011], с использованием стандартных эллипсов (с корректировкой для малой выборки) (Рис. 2). Анализ проведен в среде RStudio [RStudio Team, 2016; R Core Team, 2018].

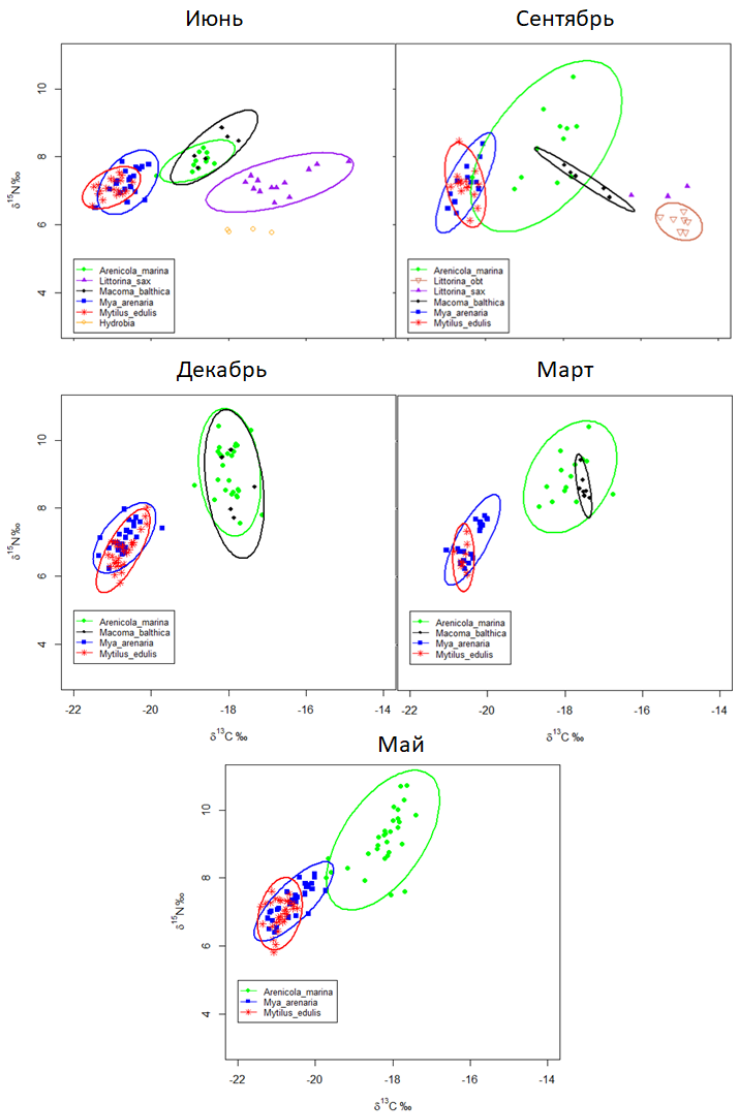


Рисунок 2. Стандартные эллипсы, включающие 95% данных с поправкой на малый размер выборки (SEA_C) для *Macoma balthica, Mytilus edulis, Mya arenaria*, *Littorina* spp. и *Arenicola marina* собранных в разные сезоны, вне зависимости от горизонтов литорали Губы Кислая.

Анализ стандартных эллипсов не выявил изменений в питании этих видов в зависимости от горизонтов литорали, на которых они обитали и сезонов сборов. Особенно близки по источникам питания и их сезонной стабильности двустворки *Mytilus edulis,* и *Mya arenaria* (синие и красные эллипсы на рис. 2). Их изотопные ниши весьма компактны и почти полностью перекрываются. Известно, что в безледных морях мидии потребляют путем фильтрации преимущественно фитопланктон и почти не усваивают взвешенное органическое вещество иного происхождения [Wiedemeyer, Schwamborn, 1996; Wong, Levinton, 2006]. Наши результаты показывают, что аналогичные источники питания свойственны и мие, также являющейся фильтратором. Оба вида используют эти источники пелагической продукции в течение всего года, несмотря на крайнюю бедность беломорского фитопланктона зимой [Ильяш, 2012]. Изотопные ниши макомы (черные элипсы) и пескожила (зелёные) также мало меняются в течение года, однако более вариабельны, чем изотопные ниши мии и мидии. Макома по способу питания – собиратель пищевых частиц с поверхности грунта, но может и отфильтровывать их из придонного слоя [Герасимова, 1988]. Пескожил – грунтоед, способный потреблять различные органические компоненты осадка [Jumars et al., 2015]. Сходство и

сезонная стабильность изотопных характеристик этих столь различных по способу питания видов указывает на то, что они в течение всего года используют одни и те же источники органического вещества, очевидно происходящие от общего пула детрита [Залота и др., 2018]. Недостаточное количество собранных особей гастропод не дает нам возможности обсуждать изменчивость в их питании. Однако из полученных данных видно, что источники их питания отличаются от остальных изучаемых нами видов.

Данная работа была поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований 18-05-60053 «Бентос шельфа морей западного сектора Российской Арктики как индикатор состояния морских экосистем в современных условиях».

Список литературы

Герасимова О.В., 1988. Пищевое поведение *Macoma balthica* (L.) и его зависимость от некоторых факторов внешней среды // Количественное и качественное распределение бентоса. Кормовая база бентосоядных рыб М: ВНИРО. С. 149–153.

Залота А.К., Спиридонов В.А., Мокиевский В.О., Сапожников Ф.В., Цетлин А.Б. Исследование трофической структуры донного сообщества литорали губы Кислой с помощью анализа стабильных изотопов азота и углерода // Труды VII международной конференции «Морские исследования и образование, Москва, 19-22 ноября 2018 г». Т. 4. Тверь: ООО «Полипресс». С. 314–317.

Ильяш Л.В., Ратькова Т.Н., Радченко И.Г., Житина Л.С. 2012.Фитопланктон Белого моря // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. Под ред. А.П. Лисицына и И.А. Немировской. М.: Научный Мир. С. 605–639.

Jackson A.L., Inger R., Parnell A.C., Bearhop S. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER–Stable Isotope Bayesian Ellipses in R // Journal of Animal Ecology, 2001, Vol. 80(3). P. 595-602.

Jumars, P.A., Dorgan, K.M., Lindsay, S.M., 2015. Diet of worms emended: an update of polychaet feeding guilds. A family-by-family updates. Annu. Rev. Mar. Sci. 7, 497–520.

Layman C. A., Araújo M. S., Boucek R., Harrison E., Jud Z. R., Matich P., Hammerschlag-Peyer C. M., Rosenblatt A., Vaudo J., Yeager L. A., Post D. M., Bearhop S. Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools // Biol. Rev. 2012. Vol. 87. P. 545-562.

Post D. M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions // Ecology, 2002. V. 83. P. 703-718.

Post D.M., Layman C.A., Arrington D.A., Takimoto G., Quattrochi J., Montana C.G. Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses // Oecol, 2007. Vol. 152. P. 179-189.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018. (URL https://www.R-project.org/)

RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. 2016.

Wiedemeyer W. L., Schwamborn R., 1996. Detritus derived from eelgrass and macroalgae as potential carbon source for *Mytilus edulis* in Kiel Fjord, Germany: a preliminary carbon isotopic study // Helgoländer Meeresuntersuchungen. V. 50. P. 409–413.

Wong W. H., Levinton J. S., 2006. The trophic linkage between zooplankton and benthic suspension feeders: direct evidence from analyses of bivalve fecal pellets // Marine Biology. V. 148. P. 799–805.

ОЦЕНКА КОМПОНЕНТОВ БЕНТИЧЕСКОЙ ПИЩЕВОЙ СЕТИ ПРИБРЕЖНОГО ГЛУБОКОВОДНОГО ТРОГА БЕЛОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ И ТРАДИЦИОННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ТРОФИЧЕСКИХ ТИПАХ ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ

В.А. Спиридонов[1], А.К. Залота[1], В.О. Мокиевский[1], П.Ю. Дгебуадзе[2], А.Б. Цетлин[3]

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

[2] *Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцева РАН, Москва*

[3] *Беломорская биологическая станция Московского государственного университета, Москва*

Введение.

Трофические связи между организмами являются важнейшим фактором, формирующим облик и динамику экосистем. Их исследования становятся особенно актуальными для сообществ, подверженных масштабным изменениям, таким как ожидаются в Арктике в связи с трансформацией климата. В последние годы в исследованиях пищевых связей в донных экосистемах Арктики наметился переход от описания трофической структуры в терминах обобщенных трофических типов, выделяемых на основании морфологических особенностей пищедобывающего аппарата к более детальным исследованиям трофических связей и уровней с использованием метода стабильных изотопов и биохимических маркеров – жирных кислот. В то же время большинство работ в явном виде не ставят задачу соотнести и обсудить традиционные представления о принадлежности видов донных беспозвоночных к тому или иному трофическому типу с их изотопными характеристиками.

Белое море – уникальный модельный водоем для сравнительных исследований донных экосистем Арктики, поскольку здесь на относительно небольшой акватории можно встретить многие типы донных сообществ с доминирующими бореально-арктическими и арктическими видами [Наумов, 2019]. В данной работе мы исследовали одно из таких сообществ, обитающее в прибрежном троге в проливе Великая Салма и состоящее из широко распространенных бореально-арктических видов, часть которых нередко является доминантами и в других районах Северного Ледовитого океана. Бентос в районе работ может быть охарактеризован как сообщество с доминированием *Astarte elliptica* + *Ophiocantha bidentata* с участием *Gersemia fruticosa*. Глубины 106-118 м, на которых проводились сборы, не характерны для этого биоценоза. В Великой Салме он занимает, обычно меньшие глубины (60-80 м), а котловины с глубинами более 100 м заняты сообществом с доминированием *Portlandia arctica*. Особенностью биотопа является его расположение на склоне, по-видимому, в условиях более интенсивной гидродинамики, что отражается в большом содержании гравийной фракции в осадке. Близость берега, крутые склоны трога и придонные течения могут приводить к значительному сносу остатков макрофитов, которые могут служить важным источником органического вещества для питания донных организмов. Во время практики студентов кафедры зоологии беспозвоночных биологического факультета МГУ в июне 2018 г. с борта НИС «Профессор Зенкевич» на участке, занятым данным сообществом, был выполнен отбор проб донной фауны для анализа изотопного состава азота и углерода (соотношения (δ) $^{13}C/^{12}C$ и $^{15}N/^{14}N$). Такой анализ позволяет получить интегрированную во времени информацию о трофических связях организмов и поэтому широко используется в изучении структуры трофических сетей в наземных и в водных сообществах [Post, 2002, Layman et al., 2012]. Основная задача данного сообщения – сопоставление изотопных характеристик массовых видов исследованного сообщества с литературными данными о способах и объектах их питания.

Материал и методы

Пробы собраны тралом 1-метровым Сигсби на глубине 107–112 м (координаты траления 66.523° с.ш. 33.329° в.д.) и дночерпателем «Океан» 0.1 м^2 на близких глубинах на этом же участке 30.06 2018 г. Материал определен студентами под руководством авторов. На соседних участках были отобраны образцы водной растительности для оценки по изотопному составу

их возможной роли как источников органического вещества в донной экосистеме прибрежного трога за пределами фотической зоны. У животных, по возможности, были отобраны мышцы. У крупных моллюсков использовали ногу, предварительно промытую и очищенную скальпелем. Крупных полихеты очищали от внешних структур и извлекали из них (выдавливали) пищеварительные органы. Весь материал был высушен до постоянного веса, перетерт и упакован в оловянную фольгу (по 200-500 микрограмм). Изотопный анализ был проведен с помощью масс-спектрометра Thermo Delta V Plus и элементного анализатора Thermo Flash 1112 в Центре коллективного пользования «Инструментальные методы в экологии» Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН.

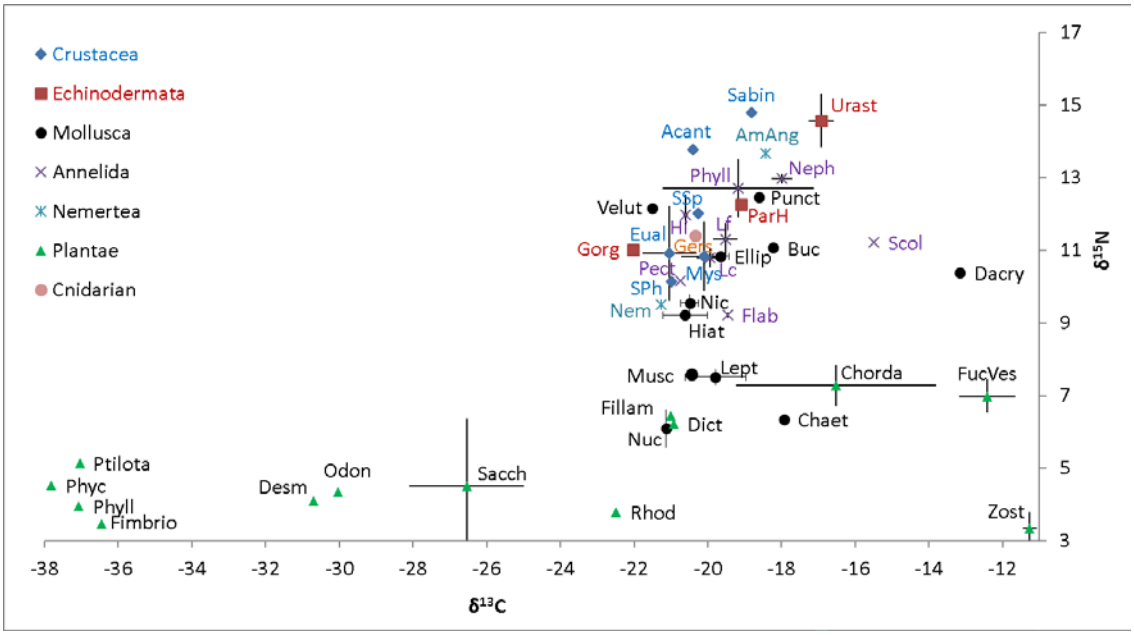


Рис. 1. Диаграмма относительного содержания стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}C$, ‰) и азота ($\delta^{15}N$, ‰) в донных беспозвоночных из глубокого трога и макроводорослей в проливе Великая Салма. Обозначения животных см. табл. 1. Обозначения макрофитов : Chorda – *Chorda* sp., Desm – *Desmarestia* sp., Dict – *Dictyosiphon* sp., Filam – нитчатки, Fimbrio – *Fimbriopholi*um sp., FucVes –*Fucus vesiculosus*, Odont – *Odontalia* sp., Phyc – *Phycodris* sp., Phyll – *Phyllophora* sp.,Ptillota – *Ptilota* sp.., Rhod – *Rhodimenia* sp., Sacch – *Saccharina latissima*, Zost – *Zostera marina*.

Результаты и обсуждение

Содержание ^{13}C указывает на особенности фотосинтеза автотрофных организмов и источники первичной продукции, потребляемой прямо или опосредованно теми или иными животными. Диаграмма распределения данных по изученным образцам в осях $\delta\ ^{13}C/\ \delta\ ^{15}N$ (Рис. 1) показывает, что для большинства донных беспозвоночных характерен узкий диапазон относительного содержания изотопа углерода между значениями, характерными для ламинариевых водорослей (*Saccharina latissima*), хорды (*Chorda* sp.), фукоидов (*Fucus vesiculosus*): от -18 до -22‰ (Рис. 1). Если принять, что двустворчатые моллюски семейства Mytildae (*Mytilus edulis, Musculus* spp.) потребляют почти исключительно живой фитопланктон, то $\delta^{13}C$ около -20.5‰ у *Musculus discors* (Табл. 1; по-видимому, этот экземпляр попал на большую глубину со сносом водорослей с верхних горизонтов сублиторали) и в диапазоне от -20.5 до -22‰ у мидий с литорали пролива Великая Салма в это же время см. [Залота и др., наст. сб.] будет соответствовать углеродной изотопной подписи фитопланктона. Это значение также находится в промежутке между подписями ламинариевых, хорды и фукоидов. Сюда же попадает и изотопная подпись нитчаток (Рис. 1). Таким образом, полученные данные не позволяют отвергнуть гипотезу о том, что основой пищевых сетей в бентали глубоководного трога является фитодетрит смешанного макрофито-фитопланктонного происхождения. Однако выделить вклад каждого из компонентов на

данном материале не представляется возможным. Для этого нужна более широкая и многочисленная выборка видов для изотопного анализа в разные сезоны с использованием дополнительных биохимических маркеров, таких как жирные кислоты. Красные водоросли (*Odonthalia* sp., *Phycodrys* sp., *Phyllophora* sp., *Ptilota* sp.) и бурые водоросли *Desmarestia* sp. характеризуются очень низким относительным содержанием ^{13}C, весьма далеким от того, какое встречается у каких-либо донных беспозвоночных, что указывает на их незначительную роль в поставку органического вещества в трофическую сеть рассматриваемой экосистемы.

Таблица 1. Данные по относительному содержанию стабильных изотопов C и N и типу питания видов донного сообщества с доминированием моллюсков-астартид в глубоком троге в проливе Великая Салма в июне 2018 г. ДППС – детритофаг подповерхностного слоя (subsurface deposit feeder); СД – собирающий детритофаг (surface deposit feeder); УС – улавливающий сестонофаг (catching seston feeder); ФС- фильтратор-сестонофаг придонного слоя (suspension filter feeder); Х – хищник (predator) [Б – бентофаг (benthophagous); П – с питанием пелагическими организмами (planktophagous); СП – специализированный потребитель какой-либо группы животных (specialized consumer)], ПА – падальщик (scavenger); НД – нет данных.

Название	Класс	Сокр. (Рис. 1)	n	$\delta^{13}C$, ‰	$\delta^{15}N$, ‰	Тип питания	Источник
Gersemia fruticosa	Cnidaria	Gersem	3	-17.15 (0,115)	11.39 (0.258)	УС, ХП	Riisgård, Larsen, 2010*
Dacrydium vitreum	Bivalvia	Dacry		-14,560	10,382	ФС	Наумов, 2006
Elliptica elliptica **	Bivalvia		4	-19.65 (0.240)	10.84 (0.086)	ФС	Наумов, 2006
Hiatella arctica	Bivalvia	Hiat	2	-21.44 (0.441)	9.21 (0.042)	ФС	Наумов, 2006
Musculus discors	Bivalvia	Musc	1	-20.44	7.57	ФС	Наумов, 2006
Nicania montagui ***	Bivalvia	Nic	3	-20.49 (0.235)	9.55 (0.238)	ФС	Наумов, 2006
Nuculana pernula	Bivalvia	Nuc	2	-21.13	6.10	СД	Наумов, 2006
Buccinum sp.	Gastropoda	Buc	1	-18.23	11.07	Х/ ПА	Nielsen, 1974
Lepeta caeca	Gastropoda`	Lept	5	-20.43 (0.498)	7.51 (0.212)	СД	Kędra et al., 2010
Puncturella noachina	Gastropoda	Punct	1	-18,61	12,46	ХСП****	Fretter, Graham, 1962
Velutina plicatilis	Gastropoda	Vel	1	-21.505	12.15	ХСП (асцидии)	Fretter, Graham, 1962
Chaetoderma nitidulum	Aplacophora	Chaet	1	-17.9	6.3	ХБ?	Scheltema, 1972
Amphiporus angulatus	Nemertea	AmAng	1	-18.432	13.68	ХСП (амфиподы)	McDermott, Roe, 1985; Цетлин, неопубл.
Nemertea gen.sp.	Nemertea	Nem	1	-21.3	9.5	НД	
Flabelligera affinis	Polychaeta	Flab	2	-19.90	9.213	СД	Jumars et al., 2015*
Harmothoe imbricata	Polychaeta	H	1	-20.56	11.60	ХБ	Plyuscheva et al., 2010
Laonice cirrata	Polychaeta	Lc	5	-20,257 (0, 434)	10.79 (0.262)	НД*****	
*Lumbrineris fragilis*****	Polychaeta	Lf	4	-19.79 (0.284)	11.30 (0.448)	Х	Jumars et al., 1979
Nephtys ciliata	Polychaeta	Neph	2	-17,99	12.96	ХБ	Jumars et al., 2015
*Pectinaria hyperborea*******	Polychaeta	Pect	1	-22.737	10.156	ДППС	Jumars et al., 2015
Phyllodoce groenlandica	Polychaeta	Phll	5	-19.92 (0.808)	12.71	Х	Jumars et al., 2015
Scoloplos cf. *armiger*	Polychaeta	Scol	1	-17,21	11,22	ДППС	Jumars et al., 2015
Acantostepheia malmgreni	Crustacea	Acant	1	-20,40	13,767	ХБП	Sainte-Marie, Brunel, 1985

Eualus gaimardii	Crustacea	Eual	2	-21.04	10.9	ХБП/ПА	Birkely, Gulliksen, 2003
Sabinea septemcarinata	Crustacea	Sab	1	-18.8	14.8	ХБ	Кобяков, 2018
Spirontocaris phippsi	Crustacea	SSp	1	-21.0	10.1	НД	
Spirontocaris spinus	Crustacea	SPh	1	-20.3	12.0	ХБ	Birkely, Gulliksen, 2003
Gorgonocephalus sp,	Ophiuroidea	Gorgon	1	-22.0	11.0	ХП	Emson et al., 1991
Poraniomorpha hispida	Asteroidea	Paran		-19.1	12.3	Х/ПА	Boolootian, 1966 *
Urasterias lincki	Asteroidea	Urast		-17.15 (0.115)	14.56 (0.727)	ХБ / ПА	Boolootian, 1966; Legeżyńska et al., 2000 *

*Данные по типу питания и составу пищи данного вида в литературе отсутствуют. Вид отнесен к определенной категории на основании работ общего характера или обзоров по биологии крупных таксонов

** Синоним *Astarte elliptica*; *** синоним *Astarte montagui*

**** Соскабливатель, потребитель мейобентоса (фораминферы)

***** Семейство Spionidae, к которому относится данный вид включает как ФС, так и СД (Jumars et al., 2015)

****** Синоним *Scoletoma fragilis*; ******* синоним *Cistenides hyperborea*

Сопоставление данных по изотопным подписям изученных видов донной фауны и данных о принадлежности к тому или иному трофическому типу представлено в табл. 1. Наиболее низкие величины $\delta^{15}N$, указывающие на принадлежность к консументам первого порядка, характерны для собирающих детритофагов: моллюсков *Nuculana pernula* и *Lepeta caeca* и фильтратора *M. discors* (около 6-7‰), за которыми следуют моллюски-фильтраторы *Hiatella arctica* и *Nicania montagui* и собирающий детритофаг полихета *Flabelligera affiinis* (9-10 ‰). Выше по относительному обогащению изотопом азота (10-12 ‰), обычно указывающему на более высокий трофический уровень, находится наиболее многочисленная группа, включающая представителей различных трофических типов: видов, для которых предполагается преимущественно потребление планктонных (мягкие кораллы *Gersemia fruticosa*, офиуры *Gorgonacephalus* sp., наиболее вероятно *G. arcticus*), придонных (креветки *Eualus gaimardii*) или донных организмов (полихеты *Harmothoe imbricata, Lumbrineris fragilis*), а также фильтраторов-сестонофагов (моллюски *Elliptica elliptica*, мизиды), вероятных собирающих детритофагов (полихеты *Laonice cirrata*), детритофагов подповерхностного слоя (полихеты *Pectinaria hyperborea*) . Можно предположить, что пища этих фильтраторов и детритофагов включает и животный компонент (например, придонный зоопланктон и мейобентос). Часть видов с $\delta^{15}N$ выше 12‰ известны как преимущественные хищники, например, амфиподы *Acanthostepheia malmgreni*, полихеты *Nephtys ciliata* и *Phyllodoce groenlandica* или специализированные потребители амфипод (немертины *Amphiporus angulatus*), фораминифер (моллюски *Puncturella noachina*) или асцидий (моллюски *Velutina plicatilis*). Наши данные показывают, что хищниками наиболее высокого уровня являются морские звезды *Urasterias lincki*, детальный тип питания которых ранее не был известен и креветки *Sabinea septemcarinata*, в составе пищи которых в море Лаптевых отмечено, тем не менее, значительное количество детрита [Кобяков, 2018].

Полученные данные по изотопных подписям некоторых видов интерпретировать трудно. Беспанцирные моллюски *Chaetoderma viridi*s по особенностям своего пищедобывающего аппарата и некоторым наблюдениям могут быть потребителями мелкого бентоса, в частности фораминифер [Scheltema, 1972]. Однако углеродная подпись это вида сдвинута в сторону увеличения, а $\delta^{15}N$ очень низка, на уровне консументов первого порядка. У полихет-детритофагов *Scoloplos* cf. *armiger* и моллюсков-фильтраторов *Dacrydium vitreum* $\delta^{15}C$ еще более смещена в сторону органического вещества фукоидного происхождения, а азотная изотопная подпись достаточно высока.

Полученные данные указывают на сложные трофические связи и специализации в донной экосистеме арктического типа, в понимание которых изотопный анализ вносит значительный вклад – но только в сочетании с другими методами исследований.

Благодарность. Мы признательны за активную помощь в проведении данной работы экипажу НИС «Проф. Зенкевич», А.И. Кокорину и группе студентов кафедры зоологии беспозвоночных МГУ, проходившей практику на Беломорской биологической станции летом 2018 г. Исследование поддержано грантом Российского фонда фундаментальных исследований 18-05-60053 по проекту «Бентос шельфа морей западного сектора Российской Арктики как индикатор состояния морских экосистем в современных условиях».

Литература

Залота А.К., Спиридонов В.А., Мокиевский В.О., Цетлин А.Б. 2021. Сезонная стабильность источников питанияи организмов массовых видов донных сообществ в динамичной среде литорали губы Кислой Белого моря// наст. издание.

Кобяков К.А. 2018. Состав пищи креветки *Sabinea septemcarinata* (Sabine, 1824) с шельфа моря Лаптевых // Сборник материалов V научно-практической молодежной конференции «ЭКОБИО – 2018» 8 – 11 октября 2018 года, г. Севастополь. С. 89–91.

Наумов А.Д. 2006. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа // Исследования фауны морей. Т. 59(67). СПб: Зоологический и-т РАН. 367 с.

Наумов А.Д. 2019. Белое море и его донные экосистемы // Исследования фауны морей. Т. 78(86). СПб: Зоологический и-т РАН. 413 с.

Birkely S-R., Gulliksen B. 2003. Feeding ecology of five shrimp species (Decapoda, Caridea) from an Arctic fjord (Isfjorden, Svalbard) with emphasis on *Sclerocrangon boreas* (Phipps, 1774) // Crustaceana. Vol. 76. P. 699–715.

Boolootian R.A.(ed.)1966. Physiology of Echinoderrnata New York:Interscience Publishers.822 p.

Fretter, V., Graham A. 1962. British prosobranch molluscs. London: Ray Society. 771 p.

Emson R.H., Mladenov Ph.V., Barrow K. 1991. The feeding mechanism of the basket star *Gorgonocephalus arcticus*// Canadian Journal of Zoology. Vol. 69. P. 449-455.

Jumars P.A., Dorgan K.M., Lindsay S.M. 2015. Diet of worms emended: an update of polychaet feeding guilds.

Appendix A. A family-by-family updates. // Annual Review of Marine Science. Vol. 7. P. 497–520.

Kędra M., Gromisz S., Jaskuła R., Legezynska J., Maciejewska B., Malec E., Opanowski A., Ostrowska K., Włodarska-Kowalczuk M., Węsławski J. 2010. Soft bottom macrofauna of an All Taxa Biodiversity Site: Hornsund (77°N, Svalbard) // Polish Polar Research,. Vol. 31. P. 309-326.

Layman C. A., Araújo M. S., Boucek R., Harrison E., Jud Z. R., Matich P., Hammerschlag-Peyer C. M., Rosenblatt A., Vaudo J., Yeager L. A., Post D. M., Bearhop S. 2012. Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools // Biological Reviews. Vol. 87. P. 545–562.

Legeżyńska J., Węsławski J.M., Presler P. 2000. Benthic scavengers collected by baited traps in the high Arctic // Polar Biology. Vol. 23: 539–544.

McDermott J.H., Roe P. 1985. Food, feeding behavior and feeding ecology of nemerteans // American Zoologist.Vol. 25. P. 113–125.

Nielsen C. 1974. Observations on *Buccinum undatum* L. attacking bivalves and on prey responses, with a short review on attack methods of other prosobranchs // Ophelia. Vol. 13. P. 87–108.

Plyuscheva M., Martin D., Britayev T. 2010. Diet analyses of the scale-worms *Lepidonotus squamatus* and

Harmothoe imbricata (Polychaeta, Polynoidae) in the White Sea. Marine Biology Research. Vol.6. P. 271-281.

Post D. 2002. M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions // Ecology.Vol. 83. P. 703-718.

Riisgård H.U., Larsen P.S. 2010. Particle capture mechanisms in suspension-feeding invertebrates. Marine Ecology Progress Series. Vol.418. P.255–293.

Sainte-Marie B., Brunel, P. 1985. Suprabenthic gradients of swimming activity by cold-water

gammaridean amphipod Crustacea over a muddy shelf in the Gulf of Saint Lawrence // Marine Ecology Progress Series, 23, 57–69

Scheltema A. 1972. Radula of *Chaetodermatidae* // Zeitschrift der Morphologie der Tiere. Vol. 72. P. 361 –370.

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МОРСКИХ ОКУНЕЙ РОДА SEBASTES АТЛАНТИЧЕСКОГО И СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНОВ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНО- ГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Артамонова Валентина Сергеевна[1], Рольский Алексей Юрьевич[2,3], Махров Александр Анатольевич[1]

[1] *ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН, Москва)*

[2] *Полярный филиал "Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии" (ФГБНУ "ПИНРО" им. Н.М. Книповича, Мурманск)*

[3] *ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет" (ФГБОУ ВО "МГТУ", Мурманск)*

Хорошо известно, что правильная видовая идентификация морских гидробионтов является необходимым условием для рациональной эксплуатации их промысловых запасов. Исследователи на протяжении долгого времени прилагают значительные усилия для разработки подходов, направленных на решение вопросов, связанных с разделением близкородственных видов рыб в смешанных уловах. Ярким примером вышеописанной проблемы могут служить морские окуни рода *Sebastes* Северной Атлантики и морей Северного Ледовитого океана. Методические сложности в определении видовой принадлежности симпатрически обитающих американского окуня (*Sebastes fasciatus*) и окуня-клювача (*Sebastes mentella*) стали причиной того, что в Северо-Западной Атлантике на протяжении нескольких десятилетий эти виды эксплуатируются как единый промысловый запас. Определенные трудности возникают также при разделении в уловах золотистого окуня (*Sebastes norvegicus*) и окуня-клювача восточной Гренландии, а также при идентификации молоди этих видов. Внешнее сходство и интенсивная межвидовая гибридизация близкородственных видов североатлантических *Sebastes* затрудняет применение морфологических критериев, делая необходимым использование молекулярно-генетического анализа.

В настоящем исследовании предложен экспресс-метод на основе аллель-специфической полимеразной цепной реакции (ПЦР), который позволяет всего в два этапа определять видовую принадлежность митохондриальной ДНК североатлантических *Sebastes*.

Материалы и методы

Исходными данными для создания тест-системы послужили последовательности контрольного региона (*D-loop*) митохондриальной ДНК (мтДНК) морских окуней рода *Sebastes,* (*S. mentella* JQ846241- JQ846253; *S. norvegicus* JQ846254 - JQ846259; *S. fasciatus* JQ846260 - JQ846261; *S. viviparus* JQ846262 - JQ846264), представленные в работах Artamonova et al., 2013 и Hyde and Vetter, 2007.

Апробацию тест-системы проводили на образцах ДНК морских окуней, видовая принадлежность которых была изначально подтверждена секвенированием соответствующего участка мтДНК, а затем тестировали ДНК *Sebastes,* видовая принадлежность которых была установлена только с помощью морфологического анализа. Всего в работе проанализировано 89 образцов ДНК североатлантических *Sebastes*.

Тотальную ДНК выделяли из тканей, фиксированных 96% этанолом (1:5) при помощи набора реагентов для выделения геномной ДНК из биологического материала «ДНК-ЭКСТРАН-2» (ЗАО “Синтол”, Москва) в соответствии с инструкцией изготовителя.

Амплификацию отдельных локусов контрольного региона мтДНК проводили с использованием праймеров, представленных в табл. 1. Программа амплификации включала следующие этапы: первоначальная денатурация 95°C – 4 мин; 27 циклов: 95°C – 30 сек, 62°C – 30 сек, 72°C – 30 сек; заключительный этап достройки цепей – 72°C 5 мин.

Секвенирование проводили на базе Межинститутского Центра коллективного пользования «ГЕНОМ» ИМБ. Результаты секвенирования анализировали с использованием BioEdit v. 7.0.5 (Hall, 1999).

Таблица 1. Характеристики праймеров, использованных в работе

Вид	Праймер	Последовательность праймера 5’-3’	Источник
S. mentella	AS1-MEN-R	ATTCAAGTATTATACGACACGAAHACC	В этой работе
S. norvegicus	AS1-NOR-R	CCATTCAAGTATTATACGACACGAAHACA	
S. fasciatus/ S. viviparus	AS1-FASVIV-R	CCATTCAAGTATTATACGACACGAAHACT	
S. viviparus	AS2-VIV-R	TACATAAAGCAGAATAATAAGACCACT	
S. fasciatus	AS2-FAS-R	TACATAAAGTAAAATAATAAGACTACC	
	Seb-D-RF-F	CCTGAAAATAGGAACCAAATGCCAG	Hyde, Vetter, (2007)
	Seb-Thr-RF-R	GAGGAYAAAGCACTTGAATGAGC	

Результаты и обсуждение

Ранее нами (Artamonova et al., 2013) было установлено, что ряд однонуклеотидных замен (SNPs) в области контрольного региона мтДНК североатлантических *Sebastes* являются видоспецифичными. Наиболее выраженным видоспецифичным сайтом SNP в последовательности контрольного региона является нуклеотидная позиция 284. В этом положении у всех представителей *S. mentella* находится нуклеотид C, у всех *S. norvegicus* – нуклеотид A, а у *S. viviparus* и *S. fasciatus* – нуклеотид T (рис. 1).

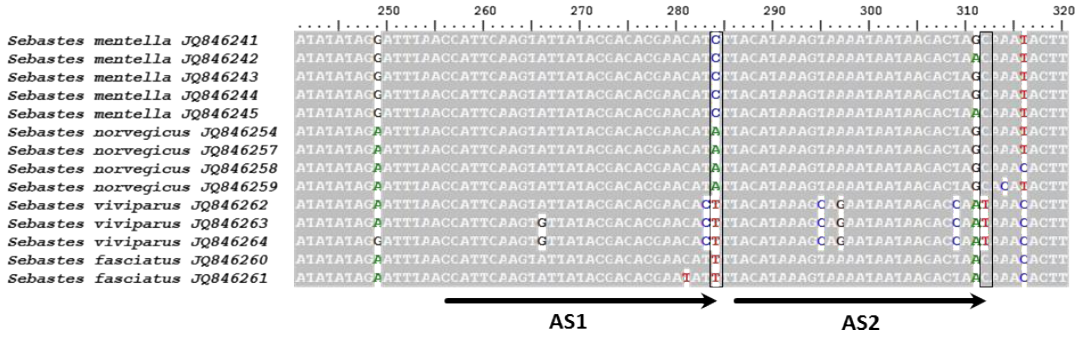


Рис 1. Фрагмент последовательности контрольного региона мтДНК североатлантических *Sebastes*. Стрелками указаны сайты, к которым подобраны аллель-специфические праймеры

С учетом этих данных, нами были разработаны три аллель-специфических праймера – AS1-MEN-R, AS1-FASVIV, AS1-NOR-R (табл. 1), отличающихся друг от друга только одним нуклеотидом на 3’-конце последовательности. Второй нуклеотид с 3’-конца был подобран так, чтобы он не был комплементарен нуклеотиду матрицы ни в одном из случаев. Тестирование

каждого образца проводили в трех реакциях ПЦР: в пробирку добавляли один изтрех аллель-специфических праймеров и праймер Seb-D-RF-F. Результаты тестирования приведены на рисунке 2.

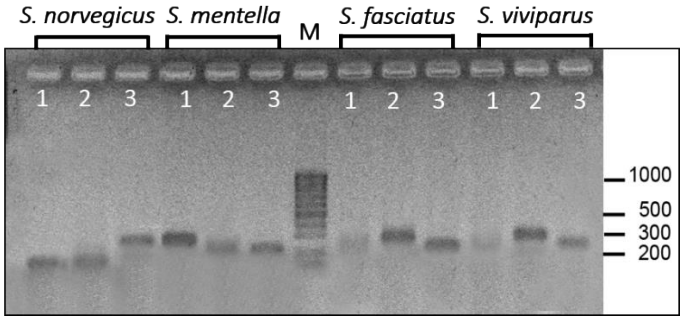


Рис 2. Результаты тестирования видоспецифичного сайта (позиция 284) в последовательности *D-loop* мтДНК. 1 - AS1-MEN-R, 2 - AS1-FASVIV-R, 3 - AS1-NOR-R. M – маркер длины фрагментов. Квадратная скобка вверху объединяет дорожки для одного и того же образца. Электрофорез в 2 % агарозном геле

На рисунке видно, что в случае, когда аллель-специфический праймер соответствует видоспецифичному нуклеотиду в геноме тестируемой особи, то в результате ПЦР синтезируется продукт ожидаемой длины (278 п.н.). Во всех других случаях, наблюдается лишь ослабленное связывание праймера на другом участке ДНК в результате чего синтезируется более короткий ПЦР-продукт (длиной около 240 п.н.). Указанная особенность может служить внутренним контролем того, что реакция с аллель-специфическим праймером не происходит именно по причине взаимного несоответствия праймера и матрицы, а не из-за технических проблем.

Разработанная тест-система позволила различать мтДНК *S. mentella* и *S. norvegicus,* а также отличать их обоих от *S. fasciatus* и *S. viviparus.* Однако этот тест не дает возможности различать *S. fasciatus* и *S. viviparus*, поскольку у этих видов в позиции 284 одинаковые нуклеотиды. Поэтому дополнительно были разработаны еще два аллель-специфических праймера - AS2-VIV-R и AS2-FAS-R, позволяющие тестировать нуклеотид в положении 312 контрольного региона мтДНК (рис.1) при использовании в качестве прямого праймера все того же Seb-D-RF-F. Результаты тестирования мтДНК при помощи указанных праймеров представлены на рисунке 3.

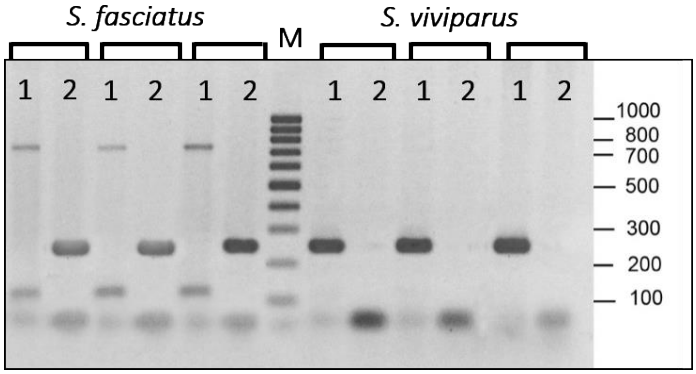


Рис 3. Результаты тестирования видоспецифичного сайта (позиция 312) в последовательности *D-loop* мтДНК. 1 - AS2-VIV-R, 2 - AS2-FAS-R. M – маркер длины фрагментов. Квадратная скобка вверху объединяет дорожки для одного и того же образца. Электрофорез в 2 % агарозном геле.

На рисунке видно, что ПЦР-продукт ожидаемой длины (247 п.н.) присутствует в пробе только в том случае, если концевой 3’-нуклеотид праймера, используемого для определения видовой принадлежности мтДНК, комплементарен видоспецифичному нуклеотиду в митохондриальном геноме тестируемой особи. В то же время праймер, видоспецифичный для *S. viviparus*, способен отжигаться (хотя и с меньшим сродством к матрице) на двух участках ДНК *S. fasciatus*, отличных от той, где находится видоспецифичный сайт. При этом синтезируются ПЦР-продукты длиной около 750 п.н. и около 120 п.н. Эта особенность праймера, предназначенного для выявления мтДНК *S. viviparus*, также может служить дополнительным внутренним контролем при тестировании образцов, тем более что на ДНК *S. fasciatus* дополнительные сайты связывания для праймера AS2-FAS-R отсутствуют.

Выборочное секвенирование образцов морских окуней подтвердило видовую принадлежность особей, определенной для них при помощи тест-системы, в 100 % случаев.

Предложенный в настоящей работе экспресс-метод на основе аллель-специфической ПЦР к двум точкам контрольного региона мтДНК позволяет всего в два этапа определять видовую принадлежность всех североатлантических морских окуней рода *Sebastes* (или материнский вид в случае гибридов). На первом этапе тестирования система позволяет отличить *S. mentella* и *S. norvegicus* от *S. viviparus* и *S. fasciatus*, а также друг от друга. На втором этапе можно различать *S. viviparus* и *S. fasciatus*. В случае, когда места отлова морских окуней известны, второй этап тестирования можно исключить, поскольку ареалы *S. viviparus* и *S. fasciatus* не перекрываются. Разработанная тест-система имеет внутренний контроль, что всегда позволяет отличить ситуацию, при которой сайт связывания для видоспецифичного праймера объективно отсутствует на тестируемой матрице, от ситуации, когда ПЦР не идет в пробе из-за технических проблем. При необходимости данная тест-система может быть оптимизирована путем разработки праймеров с флуоресцентными метками для полимеразной реакции в режиме реального времени, что существенно сократит время определения видовой принадлежности.

Благодарности

Авторы работы признательны В.И. Попову, В.Н. Зелинскому (Полярный филиал «Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии»), оказавшим огромную помощь в отлове рыб, а также Д.П. Карабанову за помощь в отработке методики молекулярно-генетического анализа. Исследование выполнено при поддержке программ “Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России” и "Перспективные физико-химические технологии специального назначения".

Список литературы

Artamonova V. S., Makhrov A. A., Karabanov D. P., Rolskiy A. Yu., Bakay Yu. I., Popov V. I. Hybridization of beaked redfish (*Sebastes mentella*) with small redfish (*S. viviparus*) and diversification of redfishes in the Irminger Sea // J. of Natural History. – 2013. – Vol. 1, № 47 (25-28). – P. 1791-1801.

Hyde J.R., Vetter R. D. The origin, evolution, and diversification of rockfishes of the genus *Sebastes* (Cuvier) // Molecular Phylogenetic and Evolution. – 2007. – Vol. 44. – P. 780–811.

Hall T.A. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT // Nucl. Acids. Symp. – 1999. № – 41. – P. 95-98.

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА КИСЛО-СЛАДКОЕ, ЧАСТИЧНО ИЗОЛИРОВАННОГО ОТ БЕЛОГО МОРЯ, В НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЕ ИЗОЛЯЦИОННОЙ СУКЦЕССИИ

Иванова Д.А.[1], Краснова Е.Д.[1], Воронов Д.А.[1,2], Радченко И.Г.[1]

[1] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова;*

[2] *Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича РАН*

Введение. Кисло-Сладкое озеро является одним из меромиктических водоёмов, обнаруженных в окрестностях Беломорской биологической станции им. Н. А. Перцова (66°32′54”N, 33°08′05”E). Раньше оно было морским заливом, имеющим более глубокую центральную часть и отмели по краям, поэтому по мере постгляционального поднятия суши залив стал отделяться от Белого моря (Краснова, 2016). Сейчас это частично изолированный водный объект, то есть заплески беломорской воды происходят только в сизигию (Краснова и др., 2016). Опреснение поверхностного слоя происходит за счёт таяния льда, солёность которого меньше, чем солёность морской воды, и талых вод с водосбора, некоторый вклад вносит ручей, впадающий в Кисло-Сладкое озеро, а также дожди. Разница в солёности и, следовательно, в плотности воды по вертикали делает невозможным перемешивание водной толщи в летний сезон. Поздней осенью или в начале зимы иногда случается заброс большого количества холодной морской воды, что приводит к промывке водоёма. За последние 10 лет в озере наблюдалась двухгодичная квазицикличность с сохранением стратификации на протяжении двух лет и промывкой раз в два года. Изоляция и специфические гидрологические условия приводят к развитию биоты, отличной от беломорской. Исследования сукцессии фитопланктона в частично изолированных от Белого моря озёрах ранее не проводились. Настоящая работа посвящена исследованию динамики ледовых водорослей и фитопланктона в озере Кисло-Сладкое после промывки зимой 2018/19 гг. и представляет собой результаты качественного и количественного анализа ледовой флоры и фитопланктона в ледовый период (17.03.19, 01.04.19) и фитопланктона – после схода ледового покрова (25.05.19, 12.06.19), а также их анализ на основании физико-химических показателей.

Материалы и методы. Для исследования ледовых водорослей на одной станции Кисло-Сладкого озера отбирали керны льда с помощью ледовой пилы. Нижнюю 10-сантиметровую часть керна помещали в пластиковую ёмкость и растапливали при комнатной температуре. Пробу растаявшего льда (440-867 мл) фиксировали раствором формалина с конечной концентрацией 2%. Для исследования фитопланктона отбирали пробы воды объёмом около 2 л с нескольких горизонтов с помощью погружного насоса Whale Premium Submersible Pump GP1352 (США) и фиксировали формалином с конечной концентрацией 2%. Одновременно на разной глубине измеряли температуру и солёность (кондуктометром YSI Pro), содержание растворённого в воде кислорода (оксиметром YSI Pro ODO) и освещённость (бытовым люксметром AR813A, модифицированным для погружения под воду). Пробы концентрировали методом обратной фильтрации (диаметр пор 2 мкм). Все пробы просчитывали под микроскопом МИКМЕД-1 (ЛОМО, Россия) при увеличении х300 и с водной иммерсией при увеличении х600 в камере Нажотта (объём 0,05 мл). Просчитывали по 3-4 камеры для каждой пробы. Водоросли по возможности определяли до вида или рода. Для верификации видовой принадлежности диатомовые водоросли просматривали под электронным микроскопом (CAM-Scan). Расчёт биомассы в единицах углерода проводили по объёмам клеток, используя геометрическое подобие (Menden-Deuer, Lessard, 2000).

Результаты и обсуждение. Зимой 2018/2019 гг. в оз. Кисло-Сладкое произошла промывка в результате поступления в него из моря большого объёма воды с необычно высокой для этого района солёностью. Солёность воды во всей толще озера в марте превысила 28‰. В апреле лёд начал подтаивать, что привело к уменьшению солёности подлёдного слоя и увеличению в нём содержания кислорода. Температура воды и в марте, и в апреле была отрицательной по всему столбу, с минимумом в зоне контакта воды со льдом. В марте вся толща воды была аэробной (начиная с 1 м – микроаэробной), а в апреле ниже 1 м сложились заморные условия, что подтверждалось отрицательным ОВП.

Всего во льду и в планктоне обнаружен 51 таксон водорослей, из них 26 – определены до вида или рода и принадлежали Bacillariophyta (19), Dinophyta (4), Chlorophyta (2), Cyanobacteria (1). Часть неидентифицированных клеток была отнесена к группе фототрофных коккоидных и жгутиковых видов (НКЖ), часть – к гетеротрофным жгутиковым, вероятно, эвгленовым и криптофитовым.

Наибольшая суммарная биомасса водорослей отмечалась во льду (табл. 1), в подлёдном планктоне она была значительно ниже и уменьшалась с глубиной. В марте во льду доминировали гетеротрофные жгутиковые и фототрофная пеннатная диатомовая водоросль *Navicula septentrionalis*. К началу апреля биомасса ледовых водорослей выросла больше чем в 60 раз, а доминирующим наряду с высоким обилием *N. septentrionalis* стал ледовый вид *Nitzschia frigida*. Фототрофная пеннатная диатомовая водоросль *N. frigida* присутствовала во льду и в марте, но высокого обилия не достигала.

Табл. 1. Суммарная биомасса (*B*) и доминирующие виды водорослей во льду и толще воды

Биотоп, глубина горизонта	*B*, мг С/м^3	Доминирующие виды, величина вклада в суммарную биомассу (%)
17.03.2019		
Лёд	12,99	Гетеротрофные жгутиковые (56), *Navicula septentrionalis* (18)
Вода, 0,5 м	5,84	*Micracanthodinium claytonii* (43), *Nitzschia frigida* (14)
Вода, 2,5 м	1,08	НКЖ (47), spp. (Cryptophyta) (26)
Вода, 3,5 м	2,62	*Peridiniella danica* (29), spp. (Cryptophyta) (26), НКЖ (22)
01.04.2019		
Лёд	791,49	*N. frigida* (68), *N. septentrionalis* (18)
Вода, 0,5 м	73,26	*N. frigida* (36), *N. septentrionalis* (33), *Chaetoceros* sp. (25)
Вода, 2,5 м	5,92	*N. frigida* (52), *N. septentrionalis* (26)
Вода, 3,5 м	0,51	*N. frigida* (34), *N. septentrionalis* (33), НКЖ (25)

Биомасса подлёдного фитопланктона также увеличилась с середины марта к началу апреля, при этом изменился состав доминирующих видов: в середине марта преобладали гетеротрофные динофлагелляты *Micracanthodinium claytonii, Peridiniella danica* и бесцветные криптофитовые водоросли, а также фототрофные НКЖ. В апреле в подлёдном планктоне так же, как и во льду, основную массу составляли *N. frigida, N. septentrionalis*, которые, по- видимому, поступали в толщу воды изо льда, и планктонная одиночная диатомовая водоросль *Chaetoceros sp.* Это характерно для начала весеннего подлёдного цветения в арктических морях (Leu et al., 2015). НКЖ были обильны только в придонном слое.

Биомасса ледовых водорослей была либо близка к значениям, полученным раннее в близлежащей морской акватории, либо превышала таковые, либо была значительно ниже Житина, Фёдоров, 2003; Ратькова и др., 2004; Ильяш и др., 2012; Кудрявцева и др., 2017).

Обилие водорослей в подлёдном фитопланктоне озера в апреле было значительно выше такового, полученного в проливе Великая Салма (Ильяш и др., 2012), однако высокие биомассы наблюдали ранее в других районах Белого моря, например, в губе Чупа в 2002 г. (Ратькова и др., 2004). Пространственно-временная изменчивость обилия ледовых водорослей и подлёдного фитопланктона характерна для арктических морей (Leu et al., 2015). Уменьшение обилия гетеротрофных форм с марта по апрель обусловлено увеличением падающей радиации и, соответственно, улучшением световых условий для фототрофных водорослей.

25 мая 2019 г. температура воды снижалась равномерно с глубиной от 10,8 до 2,6°С, а 12 июня её ход был аналогичным, но значения были выше в среднем на 3,6°С. Верхний метровый слой озера был опреснён до 8-9‰, а, начиная с 1,5 м, до дна солёность составляла около 28- 29‰ и превышала значения в море. Эти данные показывают, что в мае в озере Кисло-Сладкое установилась стратификация водного столба, вызванная опреснением поверхностного слоя. Водная толща до дна была насыщена кислородом, и его содержание в большинстве случаев превышало 20 мг/л. Освещённость значительно снижалась в первых 0,5 м, а далее до дна держалась на относительно невысоком уровне.

В период после схода льда был определен 41 таксон водорослей, к принадлежали Bacillariophyta (18), Dinophyta (5), Cyanobacteria (15), Chlorophyta (1), Ebriidae (1) и Dictyochophyceae (1).

Суммарная биомасса фитопланктона 25 мая изменялась с глубиной неравномерно и, соответствуя весеннему цветению (Кокин и др., 1970), варьировала от 463 мг С/м^3 до 2,29 г С/м^3 с максимумом на 2,5 м. Фитопланктон был представлен большей частью морскими формами. Основу суммарной биомассы во всей толще воды составляла морская водоросль *Chaetoceros. invisibilis*, достигавшая высокого обилия даже в опреснённом слое. Высокое обилие водоросли способствовало обогащению водной толщи кислородом. Этот вид описан недавно (Gogorev, 2003) и был обнаружен только в Белом и Карском морях (Ратькова и др., 2004; Gogorev et al., 2016). В Белом море встречался в губе Чупа Кандалакшского залива в апреле-мае при температуре воды 3-5°С и ниже и солёности 25-27‰ (Диатомовые водоросли…, 2006). Высокая биомасса данного вида в озере Кисло-Сладкое в мае 2019 г. является результатом отсутствия лимитирования освещённостью и, вероятно, биогенными элементами. Максимум биомассы *C. invisibilis* приходился на более глубокие слои (начиная с 2,5 м), где солёность воды составляла около 29,5‰, а температура – 2,6-4,5°С. Эти физико- химические параметры воды, по-видимому, были оптимальными для данного вида. Скорее всего, границы солёности и температуры, при которых может расти *C. invisibilis,* шире описанных ранее. Есть вероятность, что *C. invisibilis* более широко распространён в Белом море, однако из-за мелких размеров не замечается исследователями при просмотре в световом микроскопе.

12 июня суммарная биомасса водорослей равномерно увеличивалась от поверхности ко дну – от 5,72 до 104,97 мг С/м^3 соответственно. Произошла смена видового состава фитопланктона, хотя *C. invisibilis* продолжал быть одним из субдоминантов почти на всех изучаемых горизонтах. На поверхности доминировали пресноводные *Microcystis ichtyoblabe* и *Cyclotella choctawhatcheeana*, вероятно, привнесённые впадающим в озеро ручьём. Глубже преобладали морские гетеротрофные виды *Ebria tripartita, Oblea rotunda, Micracanthodinium claytonii, Gyrodinium fusiforme* и фототрофный вид *Gymnodinium arcticum* (табл. 2). Суммарная биомасса фитопланктона значительно уменьшилась по сравнению с майскими показателями, в среднем в 45 раз, что предположительно связано с лимитированием

биогенными элементами, концентрация которых в озере могла упасть после цветения *C. invisibilis.* С этим может быть связано и появление миксотрофных и гетеротрофных форм, которые активно питались автотрофными водорослями.

Табл. 2. Суммарная биомасса (*B*) и доминирующие виды водорослей на разных горизонтах оз. Кисло- Сладкое 12 июня 2019 г.

Глубина горизонта, м	*B*, мг С/м^3	Доминирующие виды, величина вклада в суммарную биомассу (%)
0,5	5,72	*Microcystis ichtyoblabe* (15), НКЖ 8μ*8μ (13), *Cyclotella choctawhatchee-ana* (12), *Chaetoceros invisibilis* (10)
1,5	28,47	*Oblea rotunda* (35), *Ebria tripartita* (22), *Gyrodinium fusiforme* (12)
2,5	30,94	*Ebria tripartita* (24), *Oblea rotunda* (12), *Chaetoceros invisibilis* (11)
3,5	70,81	*Ebria tripartita* (36), *Chaetoceros invisibilis* (29), *Gymnodinium arcticum* (14), *Micracanthodinium claytonii* (11)
4,3	104,97	*Ebria tripartita* (33), *Chaetoceros invisibilis* (14)

Выводы. 1) Развитие ледовых водорослей и подлёдного фитопланктона в Кисло-Сладком озере в марте-апреле происходило аналогично таковому морской акватории, что соответствует начальной, морской стадии изоляционной сукцессии. **2)** После схода ледового покрова в мае 2019 г. установилась стратификация водного столба с опреснённым верхним слоем, однако фитопланктон в озере был представлен в основном морскими формами со значительным преобладанием редко встречаемой в Белом море водоросли *C. invisibilis*, что соответствует началу изоляционной сукцессии в озере. **3)** Развитие солёностной стратификации привело в июне к расслоению сообществ фитопланктона. В поверхностном, опреснённом слое воды начали развиваться пресноводные фототрофные водоросли, в подповерхностных слоях развивались морские водоросли с преобладанием гетеротрофных и миксотрофных форм.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-05-00377).

Литература:

Житина Л.С., Федоров В.Д. Ледово-планктонные водоросли прибрежья Белого моря // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 16. Биология. – 2003. – № 1. – С. 24-31.

Диатомовые водоросли России и сопредельных стран: ископаемые и современные. Т II, вып. 4 / ред. Н. И. Стрельникова. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2006. – 180 с.

Ильяш Л. В., Житина Л. С., Кудрявцева В. А., Мельников И. А. Сезонная динамика видового состава и биомассы водорослей в прибрежных льдах Кандалакшского залива Белого моря // ЖУРНАЛ ОБЩЕЙ БИОЛОГИИ. – 2012. – Т. 73, № 6. – С. 461-472.

Кокин К.А., Кольцова Т.И., Хлебович Т.В. Состав и динамика фитопланктона Карельского побережья Белого моря // Ботанический журн. – 1970. – Т. 55, № 4. – С. 499-509.

Краснова Е.Д. Как морские заливы превращаются в пресные озера. В кн.: Природное и культурное наследие Белого моря: перспективы сохранения и развития, материалы III междунар. науч.-практ. конф., Чупа. – 2016. – С. 30-34.

Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л., Шапоренко С.И. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота– изменения на фоне трансгрессии берегов (Труды Беломорской биостанции МГУ т. 12). – М.: Изд-во КМК, 2016.– С. 211-241.

Кудрявцева В.А., Белевич Т.А., Житина Л.С. Видовой состав диатомовых водорослей во льду пролива Великая Салма Белого моря перед весенним цветением // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 16.

Биология. – 2017. – Т. 72, № 2. С. 63-69.

Ратькова Т.Н., Сажин А.Ф., Кособокова К.Н. Одноклеточное население беломорской пелагиали подо льдом в ранне-весенний период // Океанология – 2004.–Т. 44, № 2 –С. 259-266.

Gogorev R.M. A new Chaetoceros species (Bacillariophyta) from Plankton of the Russian Arctic seas and its comparison with species of the section Simplicia // Бот. журн. – 2003. – Vol. 88, № 4. – P. 82-100.

Gogorev R.M., Samsonov N.I. The genus Chaetoceros (Bacillariophyta) in Arctic and Antarctic // Novosti Sist. Nizsh. Rast. – 2016. – Vol. 50. – P. 56-111.

Leu, E., Mundy C.J., Assmy P., Campbell K., Gabrielsen T.M., Gosselin M., Juul-Pedersen T., Gradinger R. Arctic spring awakening – Steering principles behind the phenology of vernal ice algal blooms // Prog. Oceanogr. – 2015.

Menden-Deuer S., Lessard E.J. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton // Limnol. Oceanogr. – 2000. – Vol. 45, № 3. – P. 569-579.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПИТАНИЯ ВЗРОСЛОЙ ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ GASTEROSTEUS ACULEATUS (LINNAEUS, 1758) НА НЕСТИЛИЩАХ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Демчук Анна Сергеевна[1,2], Иванов Михаил Валериевич[1], Иванова Татьяна Сосланович[1], Полякова Наталия Владимиоровна[1], Лайус Дмитрий Людвигович[1]

[1] Санкт-Петербургский Государственный Университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург, Россия
[2] Зоологический Институт Российской Академии Наук, Санкт-Петербург, Россия

Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) на данный момент самая многочисленная рыба Белого моря, здесь колюшки мечут икру в мелководных районах, предпочитая заросли прибрежной растительности (Ivanova et. al., 2016). Кандалакшский залив Белого моря с чрезвычайно изрезанной береговой линией и отличающийся обилием мелководных заливов, заросших водной растительностью (в первую очередь морской травой *Zostera marina* L.) создает благоприятные условия для нереста этого вида рыб (Ivanova et. al., 2016). Икра развивается в гнезде под охраной самца. Самец вентилирует икру в гнезде и убирает неоплодотворенные и погибшие икринки. Самки, отложив икру, некоторое время остаются в прибрежной зоне, где активно питаются. Они часто нападают на гнезда, и поедают икру и молодь собственного вида (Мухомедияров, 1966). Современных сведений о питании взрослой колюшки на нерестилищах в Белом море немного, но имеются данные, относящиеся к 1960-м годам (Абдель-Малек, 1963; Мухомедияров, 1966). Целью данной статьи является изучение межгодовой изменчивости питания взрослой беломорской трехиглой колюшки, во время нереста в разных прибрежных биотопах.

Материал собирали в 2016 и в 2018 гг. на трех станциях неподалеку от учебно-научной базы (УНБ) СПбГУ в Керетском архипелаге Кандалакшского залива Белого моря: (i) губа Сельдяная с плотными зарослями морской травы, (ii) соединяющаяся с проливом Сухая Салма мелководная илистая лагуна Колюшковая, где заросли морской травы не столь плотные, и (iii) сам пролив Сухая салма с редкими зарослями морской травы. Пробы взрослой колюшки собирали в начале (конец мая), середине (середина июня) и конце (начало июля) нерестового периода однократным ловом мальковым равнокрылым неводом длиной 7,5 м, невод заводили на 30 м от берега. У рыб, взятых для анализа питания, желудок и пищевод фиксировали 4% формалином. В дальнейшем их вскрывали под бинокуляром и просматривали содержимое в камере Богорова. Найденные организмы определяли до наименьшего возможного ранга и подсчитывали их численность. У части наиболее хорошо сохранившихся экземпляров (до 10 шт.) с помощью окуляр-микрометра измеряли линейные размеры с точностью до 0,03 мм. Далее, зная линейные размеры идентифицированных организмов, восстанавливали их массы. Для большинства планктонных организмов, брались уже ранее известные стандартные массы (Перцова, 1967). Для некоторых бентосных организмов использовали опубликованные аллометрические уравнения зависимости длины от массы тела. Роль отдельных кормовых объектов в питании молоди оценивали по частоте встречаемости (*F*) и доле в пищевом комке (*Ii*) (Hyslop, 1980).

Всего в желудках изученной трехиглой колюшки за 2 года исследований были обнаружены организмы, принадлежащие к 37 таксонам различного ранга. Из них 17

относились к зообентосу, 3 к микрофитобентосу, 14 к зоопланктону и 1 фитопланктону, а также имаго Diptera, икра и личинки трехиглой колюшки. В 2018 году питание рыб было более разнообразным (31 таксон) по сравнению с 2016 годом (22 таксона). Основными компонентами спектра питания (суммарно *I*>80% от массы в желудке) в течение всего нерестового периода в 2016 году были: икра трехиглой колюшки, имаго Diptera, куколки и личинки Chironomidae, Polychaeta и Amphipoda. В 2018 (больше 85% от массы в желудке) – икра трехиглой колюшки, Polychaeta, Amphipoda, планктонный рак *Pseudocalanus sp.* и группа видов таксона Harpacticoida. В целом у самок спектр питания более разнообразный, чем у самцов, в 2016 году – 20 компонентов у самок против 13 компонентов у самцов (в 2018 году 28 и 25 соответственно).

Частота встречаемости (*F*) кормовых объектов в желудках рыб была различной. В оба года исследований ни один из кормовых объектов не встречался у 100% рыб. Это может говорить о высоком разнообразии диеты, как на разных станциях мониторинга, так и в течение всего нерестового периода. В 2016 году самыми часто встречаемыми объектами питания были куколки (63%) и личинки Chironomidae (43%), а так же Harpacticoida n/det (в среднем в 30% желудках) и Diptera (imago) (до 57%, 25 в среднем). Максимальной встречаемости в разные периоды пробоотбора 2018 года достигали следующие таксоны - copepoditii Copepoda (67%), Harpacticoida n/det (65%), *Pseudocalanus sp.* (60%). Единственный компонент, который стабильно встречался в желудках до половины рыб, в течение нерестового периода на всех станциях в оба года исследований была собственная икра *G. aculeatus* (доходя до 67%, в среднем 50% в 2018 г. и 50% и 40% в среднем в 2016 г.)

В 2016 году в лагуне Колюшковая в начале нереста и у самцов и у самок в пищевом спектре примерно половину составляла собственная икра, а вот вторая половина спектра у самцов была значительно беднее – только имаго Diptera, тогда как у самок кроме икры и имаго Diptera в заметном количестве присутствовали куколки и личинки Chironomidae, Gastropoda, Polychaeta. К середине нерестового периода роль икры в питании обоих полов снизилась до 10-20%. В конце нерестового периода самцы примерно поровну (*I*=20-30%) питались икрой, куколками Chironomidae, Amphipoda. Самки же перешли на питание практически одними Chironomidae (больше 85%). В 2018 году в течение всего нереста у рыб в пищевом спектре примерно от 30 до 50% составляла собственная икра. Вторую половину спектра составляли группа организмов мейобентоса - Harpacticoida n/det. Так же следует отметить питание куколками Chironomidae до 10% спектра. На остальных двух станциях мониторинга они не были значимыми в питании рыб в 2018 году.

В проливе Сухая Салма на протяжении практически всего нереста в 2016 году в питании колюшек почти отсутствовала икра. В начале нереста основой питания и самцов и самок были Amphipoda и имаго Diptera. К середине нереста все рыбы питались в основном Amphipoda (более 75%), второй по значимости группой у самцов были Polychaeta. В конце нереста, самцы начали потреблять икру (*I*=60%), а самки потребляли примерно столько же имаго Diptera. В 2018 году в проливе практически весь нерестовый период в питании колюшек играл очень важную роль планктонный копеподный рачок - *Pseudocalanus sp.,* до 50% спектра в начале и конце нерестового периода. В середине нерестового периода все рыбы питались практически поровну Amphipoda, Polychaeta и собственной икрой (суммарно *I* около 80%).

В губе Сельдяная в начале нереста 2016 года у самок в питании отсутствует собственная икра, тогда как у самцов она составляет более половины пищи. В остальном спектры питания похожи. В дальнейшем, в течение нереста, спектр питания самцов изменялся

незначительно, тогда как самки к середине нереста перешли на питание почти исключительно своей икрой (больше 85%), а к концу нереста снизили долю икры до 30% и включили в свой рацион ранее практически не значимых Amphipoda, Gastropoda, ветвистоусого рачка *Podon leuckarti* (Sars, 1862). В 2018 году в губе в начале и конце нереста в среднем около 25% спектра питания занимал *Pseudocalanus sp.* Кроме него в начале нереста следует отметить питание Decapoda varia, а в конце Polychaeta varia и собственной икрой. В середине нереста рыбы перешли на питание практически исключительно икрой (*I* больше 70%).

Таким образом, результаты нашей работы свидетельствую о том, что в целом, колюшка Белого моря – типичный эврифаг. Она питается бентосом, икрой и молодью рыб, воздушными насекомыми и планктоном. Летом 2016 и 2018 года во время нереста рыбы в целом демонстрируют выраженное бентосное питание, но планктонные организмы в отдельные периоды иногда все же достигают значимых долей в спектре питания. Пищевой спектр колюшки сильно зависит от характеристик нерестилища. На условно «хороших» нерестилищах, где численность рыб высокая (Демчук и др., 2018), первостепенное значение в питании приобретает собственная икра колюшки. В течение нереста, по-видимому, согласно с изменением кормовой базы, изменяются и ее основные компоненты питания. Несмотря на широкий спектр питания колюшки (37 таксонов) и его изменчивость в течение нерестового сезона, единовременно основу ее питания составляют обычно 2-3 компонента.

Данная работа поддержана грантом РФФИ № 18-34-00914 мол_а «Соотношение полов у трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus* L.) Белого моря при адаптации к изменениям окружающей среды», РФФИ №18-04-01052 А «Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* как связующее звено между сообществами открытого моря и прибрежья Белого моря». А так же грантом РНФ 19-14-00092 “Осиная талия” экосистем северных морей: долговременная динамика, популяционная структура и трофические связи массовых пелагических рыб Белого и Балтийского морей” Авторы выражают благодарность администрации УНБ СПбГУ
«Беломорская» за возможность круглогодичной научной работы на Белом море.

Список литературы

1) Ivanova T. S., Ivanov M. V., Golovin P. V., Polyakova N. V., Lajus D. L. The White Sea threespine stickleback population: spawning habitats, mortality, abundance // Evolutionary Ecology Research, 2016. Vol. 17. P.301-315.

2) Мухомедияров Ф. Б. Трехиглая колюшка Кандалакшского залива Белого моря // Вопросы ихтиологии. 1966. Т. 6, №. 3. С. 454-467.

3) Абдель-Малек С.А. Питание взрослой трехиглой колюшки (Gasterosteus aculeatus L.) в Кандалакшском заливе Белого моря. // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. 1963. Т. 3. С. 31-36.

4) Перцова Н. М. Средние веса и размеры массовых видов зоопланктона Белого моря // Океанология. 1967. Т. 7. С. 309-313.

5) Hyslop E. J. Stomach contents analysis: a review of methods and their application // Journal of Fish Biology. 1980. doi: 10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x

6) Демчук, А. С., Иванов, М. В., Иванова, Т. С., Полякова, Н. В., Головин, П. В., Лайус, Д. Л. (2018). Питание беломорской трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus* L.) на нерестилищах. // Труды КарНЦ РАН, Тематические выпуски «Исследования в области биологических наук», (4), 42-58.

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ И ИНДЕКСА РАЗНООБРАЗИЯ ИХТИОПЛАНКТОНА ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Карасева Елена Михайловна[1], Ежова Елена Евгеньевна[2]
[1]Атлантический филиал ВНИРО (АтлантНИРО) Калининград
[2]Институт океанологии им П.П. Ширшова РАН[2], Москва

Введение

Балтийское море – один из немногих районов, где ихтиопланктонные исследования, начавшиеся в первые годы 20-го столетия, до сих пор являются неотъемлемым компонентом изучения биологии рыб. Сбор ихтиопланктонных проб в Балтийском море является частью программы государственного мониторинга водных биологических ресурсов в исключительной экономической зоне Российской Федерации. Она включает сбор, обработку и обобщение информации по воспроизводству водных биологических ресурсов в изменяющихся условиях среды обитания. Целью является оценка численности пелагической икры и личинок массовых видов рыб для характеристики эффективности их размножения на ранних стадиях онтогенеза. Сбор полевого биологического материала, его обработка и обобщение были выполнены в рамках сотрудничества между Атлантическим филиалом ВНИРО и Институтом океанологии им П.П. Ширшова РАН.

Материалы и методика

В качестве орудия лова использовалась сеть ИКС–80 с размером ячеи фильтрующего конуса 335 мкм. Облов производился в слое дно-поверхность, пробы фиксировались 4% - ным формалином. Обработка велась согласно стандартной методике (Казанова, 1954; Расс, Казанова, 1966). Численность икры и личинок рыб оценивалась в экз. /м^2. По результатам ихтиопланктонных исследований, проведенных на судах Института океанологии РАН в 2016 – 2019 гг., был выявлен заметный рост численности пелагической икры и личинок донных рыб в ихтиопланктоне открытой части Юго-Восточной Балтики. Для сравнения современных изменений в состоянии общего разнообразия ихтиопланктона по сравнению с серединой прошлого века были использованы литературные данные (Грауман, 1980). Для характеристики общего разнообразия применялся показатель Шеннона (Shannon, Weaver, 1963).

Результаты и обсуждение

Высокие концентрации икры речной камбалы (до 142 экз / м^2), зафиксированные в марте – апреле 2016 г., не наблюдались ранее за период современных исследований, начиная с 1992 г. При продолжительной сезонной встречаемости (март - август) межгодовой пик численности икры восточно-балтийской трески был отмечен в июне – июле 2017 г. (при максимальной концентрации до 82 экз /м^2). Впервые в текущем столетии количество икры трески в ихтиопланктоне достигло уровня 2003 г., в котором в воды Юго-Восточной Балтики проникла предшествующая адвекция североморских вод.

Значительный рост численности икры донных рыб в последние годы был связан с усилением частоты и интенсивности мощных затоков соленых и насыщенных кислородом североморских вод. С конца декабря 2014 г. по февраль 2016 г. в придонные слои Юго-Восточной Балтики проникли воды не менее трех так называемых больших балтийских затоков, повысивших придонную соленость до 14.4 ‰ и содержание придонного кислорода до 2,8 мл/л.

Временное расхождение в один год в скорости реакции различных видов донных рыб на улучшение условий размножения (Рис.1), по-видимому, определялось, по-видимому, различиями в миграционной активности трески и речной камбалы, определявшей сроки перемещения их нерестовых скоплений из западных районов на нерестилища в восточной части Гданьской впадины.

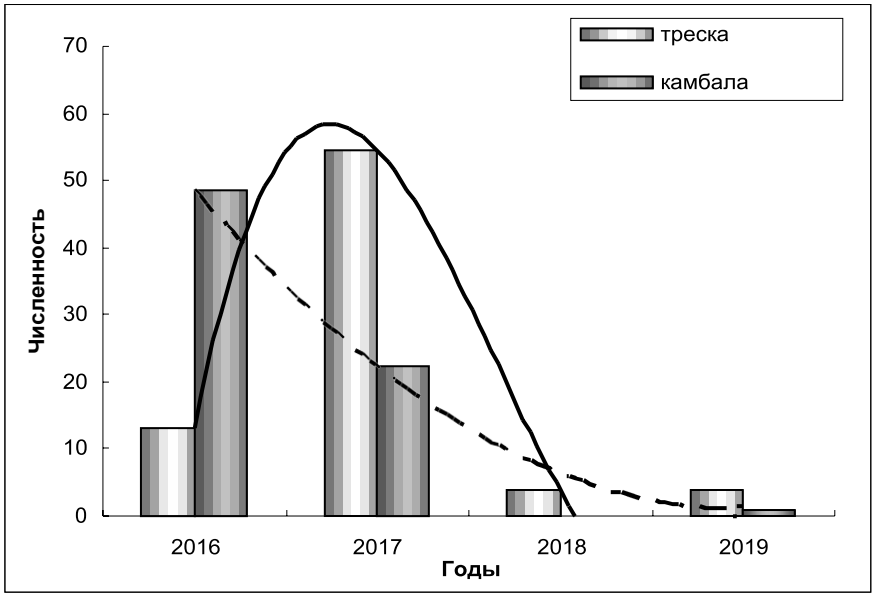


Рис. 1. Средняя численность (экз/ м^2) икры трески и речной камбалы в Юго-Восточной Балтике в 2016-2019 гг.

В последующие 2018 и 2019 гг. интенсивность размножения донных видов рыб в Гданьской впадине сократилась, хотя и была выше, отмечавшейся в предшествующие годы с преобладанием стагнационных процессов. Увеличение количества икры донных рыб происходило на фоне сохранившегося доминирования в ихтиопланктонном комплексе икры шпрота. Пик интенсивности размножения шпрота в рассматриваемые годы приходился на апрель – май, сместившись на более ранние сроки по сравнению с наблюдавшимся в 1990-е гг. пиком в мае-июне. Средняя численность икры шпрота многократно превышала таковую у донных видов рыб, составляя в среднем до 600 экз/м^2 при максимальных концентрациях икры более 1000 экз. /м^2 в 2017 и 2019 гг. Доля численности икры шпрота в ихтиопланктоне в весенний сезон увеличивалась от 74 % в 2016 г до 95 -98 % в 2017 и 2019 г. В августе в связи с завершением нереста шпрота доминирующее положение в ихтиопланктонном комплексе в глубоководной части моря занимает икра трески – до 92%. В целом современный период в состоянии ихтиопланктона характеризуется сохранением относительно позднего размножения трески относительно сместившегося на более ранние сроки нереста шпрота.

Таким образом, вторжение вод нескольких адвекций североморских вод в 2014 - 2016 гг. на два года прервало стагнационные процессы в придонных слоях Балтийского моря и привело к активизации размножения донных рыб в 2016 и 2017 гг. Однако, уже в 2018 и 2019 гг. было отмечено снижение численности икры трески в Гданьском районе с сохранением довольно интенсивного нереста на юге Готландской впадины. В целом увеличение численности икры донных рыб в ихтиопланктоне происходило на фоне сохранившегося доминирования икры балтийского шпрота.

Отличия в современном состоянии ихтиопланктонного комплекса от наблюдавшегося в середине прошлого столетия прослеживаются по сезонной динамике индекса общего разнообразия Шеннона *H*ˆ (Рис. 2).

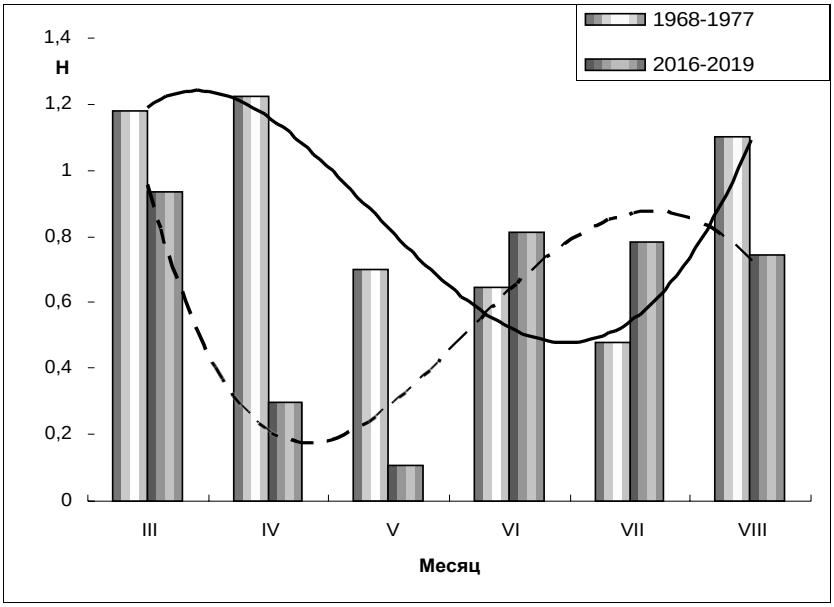


Рис. 2. Сезонная динамика индекса разнообразия **Шеннона** *H* в ихтиопланктоне Юго-Восточной Балтики в 1968- 1977 гг. и 2016-2019 гг.

Как в середине прошлого века, так и в современный период, индекс разнообразия был минимальным в месяцы интенсивного размножения вида - доминанта. Пик размножения шпрота в 1968-1971 гг. приходился на июнь-июль, составляя от 0,646 до 0,482. В современный период минимум разнообразия сместился на апрель – май, понизившись до 0,301 и 0,108. Уменьшение индекса разнообразия, по-видимому, было связано с более чем двукратным ростом численности икры шпрота в сезон массовой репродукции по сравнению с периодом 1968-1977 г.

Современное смещение пика размножения на более ранние сроки обеспечило конкурентное преимущество шпроту, r – стратегу с более быстрой сменой поколений по сравнению с донными видами рыб.

Список литературы

Грауман Г.Б. Экологические особенности воспроизводства основных пелагофильных рыб в Балтийском море. //Fischerei-Forschung. 1980. 18 (2). P. 77-82

Shannon C., Weaver W. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press. Urbana. 117p.

ПИЩЕВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ТРЁХИГЛОЙ КОЛЮШКИ (GASTEROSTEUS ACULEATUS L.) С ДРУГИМИ ВИДАМИ РЫБ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ.

Смирнова Ксения Александровна, Демчук Анна Сергеевна, Иванов Михаил Валерьевич, Иванова Татьяна Сослановна, Лайус Дмитрий Людвигович.
Санкт-Петербургский Государственный Университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург, Россия

Трèхиглая колюшка (*Gasterosteus aculeatus* L.) – массовый вид рыб Балтийского моря, численность которого стремительно растет в последние годы, что приводит к изменениям во всей экосистеме моря (Eklöf et al., 2020). Несмотря на высокую экологическую значимость колюшки, ее образ жизни сравнительно мало изучен (Bergström et al., 2015). Особенно интересным представляется еѐ массовая миграция в прибрежье в период нереста. Одновременное появление огромного множества рыб может заметно повышать нагрузку на все компоненты прибрежного сообщества в целом. Как показано во многих исследованиях, в этот период колюшка активно питается, в том числе икрой и молодью других видов рыб (Демчук и др., 2018; Golubkov et al., 2018). Таким образом возникает конкуренция за кормовые ресурсы и давление на популяции других обитающих здесь рыб – взрослых особей девятииглой колюшки (*Pungitius pungitius* L.), а также молодь уклейки (*Alburnus alburnus* L.), ельца (*Leuciscus leuciscus* L.), плотвы (*Rutilus rutilus* L.), и других карповых рыб (Успенский и Насека, 2014). В данной работе предпринимается попытка охарактеризовать пищевые взаимоотношения рыб в период массовой миграции колюшки в прибрежную зону восточной части Финского залива, основываясь на спектрах питания и индексах перекрывания их пищевых ниш.

Материал был собран в конце мая - начале июня 2019 года на 8 станциях в прибрежной зоне (максимальная глубина 1.1м) восточной части Финского залива с помощью равнокрылого малькового невода (рис. 1). Рыб непосредственно после поимки фиксировали в 4% растворе формальдегида для сохранения содержимого их пищевого тракта. Далее определялся пол рыб, где это было возможно, вручную измеряли общую длину тела с точностью до 0,5 мм, общую массу и массу без внутренностей с точностью 0,001г (Методическое пособие…,1974; Методические рекомендации…, 1984). В целом было исследовано 1000 экз. рыб. После этого рыб вскрывали и под микроскопом изучали содержимое желудка в камере Богорова для качественной и количественной оценки состава пищевых трактов (Hyslop, 1980). Затем были построены спектры питания разных видов, рассчитана ширина их пищевых ниш по модифицированной формуле Льюинса (Levins, 1968; Krebs, 1999), проведено их сравнение, а также подсчитан индекс напряженности пищевых отношений - индекс Пианки (Pianka, 1969). Значение обоих показателей изменяется в диапазоне от 0 до 1.

В ходе проведенного исследования нами было поймано 10 видов рыб, из них 7 принадлежали к семейству Cyprinidae - карповые (уклейка, густера *Blicca bjoerkna*, пескарь *Gobio gobio*, елец, гольян - *Phoxinus phoxinus*, плотва и голавль - *Squalius cephalus*), 2 - к семейству Gasterosteidae - колюшковые (трèхиглая и девятииглая колюшки), а также один представитель семейства Ammodytidae - песчанковых (балтийская песчанка - *Ammodytes tobianus*). Из них елец и густера были встречены всего на нескольких станциях, где их относительная численность не превышала 2% всех рыб. Гольяны, песчанки и голавли были встречены только на одной станции и составляли 35%, 30% и 1% относительной численности соответственно. Массовыми таксонами рыб были такие карповые рыбы, как уклейка, плотва и пескарь, причем преимущественно на южном побережье, где их численность доходила до 2,1 экз./м^2, на севером плотность была заметно ниже – до 0,4 экз./м^2. Оба вида колюшек, в свою очередь, достигали высоких значений численности, как на южном - 1,8 экз./м^2, так и на северном - 3,36 экз./м^2 , побережьях. Таким образом, основываясь на данных по численности рыб в прибрежье, трехиглую и девятииглую

колюшки, уклейку, пескаря и плотву считали доминантными, у которых проводили анализ питания и их пищевых отношений.

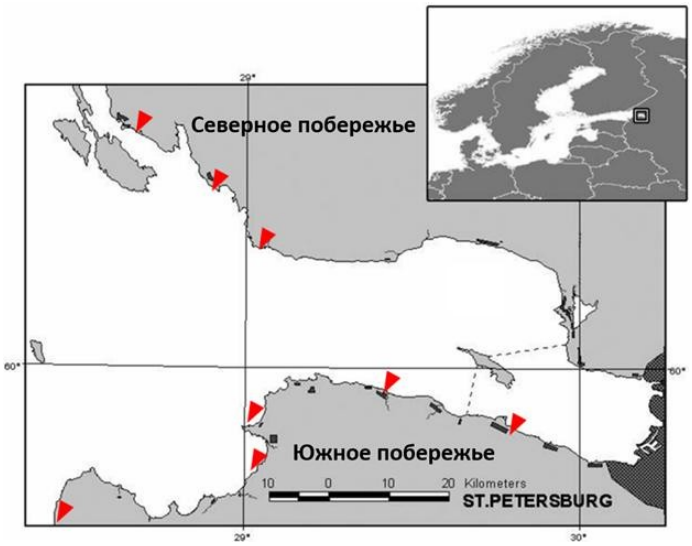


Рисунок 1. Станции отбора проб (треугольный маркер) в прибрежной зоне восточной части Финского залива

Длина тела составляла (мм): 59±6.44 у трѐхиглой колюшки (35 – минимальная зафиксированная длина, 65 – максимальная), 46.8±7.82 (30 – мин.,75 – макс.) у уклейки, , 43±6.84 у пескаря (31 – мин., 72 – макс.), 48±4.28 у девятииглой колюшки (35 – мин., 65 – макс.), и 48±9.17 у плотвы (30 – мин., 63 – макс.), т.е. исследованные нами виды имели приблизительно одинаковые размеры, что упрощает их сравнение.

Из литературных данных известно, что из рассматриваемых нами видов девятииглая и трѐхиглая колюшки питаются относительно равномерно и бентосом, и планктоном, уклейка предпочитает питание в толще воды и у поверхности, а плотва и пескарь питаются преимущественно бентосом, причем для плотвы характерно и питание растительностью (Lammens & Hoogenboezem, 1991, Politou, 1993). Четкое разделение на планктонное и бентосное питание возможно в местах, где можно четко разграничить различные среды обитания водных организмов. В прибрежной же системе, где было проведено наше исследование, происходит интенсивное перемешивание и взмучивание донных осадков, поэтому для рыб возможно свободное переключение между планктоном и бентосом.

Всего в пищевых трактах было встречено 33 таксона, при этом 12 из них относились к зоопланктону,16 – к зообентосу, и 5 – к другим группам. При этом, все 33 таксона были встречены в желудках трѐхиглой колюшки, питание же представителей других видов было менее разнообразным. У девятииглой колюшки был обнаружен 21 таксон (33% представителей планктона, 47% бентоса и 20% - других), у уклейки – 9 таксонов (33% зоопланктон, 44% – зообентос, и 23% - другие), по 5 у плотвы и пескаря (60% - зообентос, 40% - другие).

Самыми встречаемыми пищевыми объектами (встречены в от 60% до 100% рыб) были imago Diptera var., Chironomidae var. (larvae и pupae), Ostracoda var., икра *G. aculeatus* и Harpacticoida var. Diptera imago были встречены в питании всех видов рыб, и составляли 60% в питании уклейки и 18% в питании плотвы, в то время как у остальных рыб они встречались в незначительных количествах. Почти у всех видов рыб (кроме плотвы) в пищевых комках были встречены Chironomidae larvae, и составляли около 30% в пищевом комке пескаря, девятииглой и трѐхиглой колюшек, в то время как у уклейки они составляли всего 1%), а их pupae (65% у трѐхиглой колюшки, 37% у девятииглой, и 11% у уклейки и плотвы), в то время как в питании пескаря их не было вообще. У 50% девятииглых колюшек и у 25% трѐхиглых, а также у 21% пескарей в питании были обнаружены Ostracoda var. Икра рыб была обнаружена у 21% трѐхиглых колюшек, и примерно у 5% девятииглых колюшек и уклеек. У 17% трѐхиглых и девятииглых колюшек были обнаружены представители таксона Harpacticoida, и у 8% уклеек и пескарей.

В спектрах питания большинства рассмотренных рыб значительную долю на всех рассмотренных станциях занимали представители бентосных таксонов Diptera, и Chironomidae в частности (рис. 2). Diptera imago составляли 90% в питании уклейки, 57% у плотвы и 20% у пескаря, в питании остальных видов рыб их доля была незначительной, не более 5%. Таксон Chironomidae был представлен двумя группами: личинки (Chironomidae larvae) и куколки (Chironomidae pupae). Chironomidae larvae составляли 74% в питании пескарей, в то время как у остальных таксонов их доля в питании составляла менее 10%. Chironomidae pupae были значимыми в питании трѐх видов рыб: девятииглой и трѐхиглой колюшек, а также плотвы, где составляли 11%, 17% и 29%, соответственно (рис. 2). Что касается зоопланктонных таксонов, следует отметить *Eurytemora spp.* На северном берегу Финского залива *Eurytemora spp.* доминировала в питании трѐхиглой и девятииглой колюшек - еѐ доля составляла 58% и 64% соответственно, на всех остальных станциях она встречалась крайне редко (не более 3%) (рис. 2). Остальные таксоны не вносили существенного вклада в питание выше рассмотренных видов рыб.

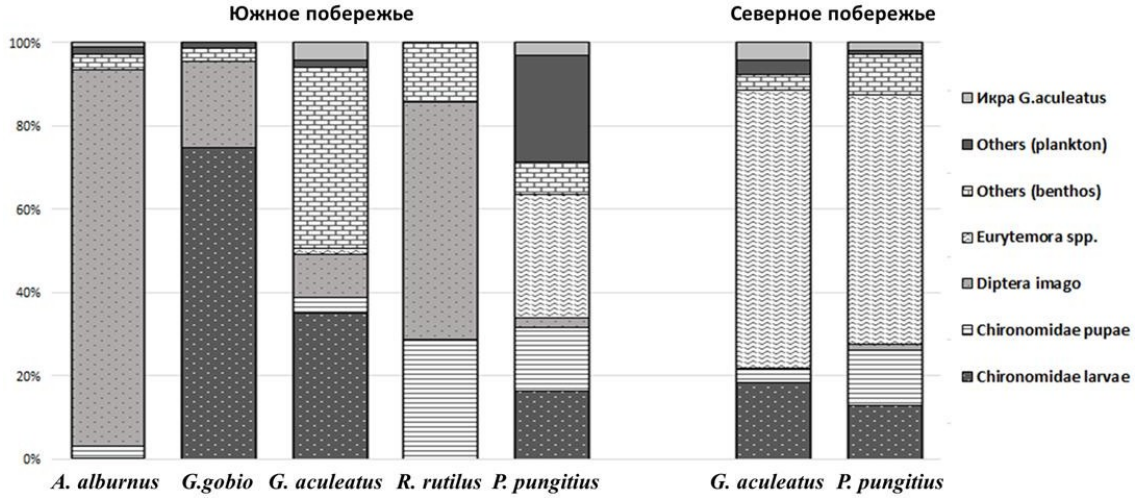


Рисунок 2. Спектры питания массовых видов рыб в прибрежной зоне восточной части Финского залива.

Таким образом, на рассмотренных нами станциях на восточном побережье Финского залива, трехиглая и девятииглая колюшки питались как планктонными, так и бентосными организмами, причем на разных станциях доминировали либо одни, либо другие. Питание остальных рассматриваемых видов рыб (уклейка, плотва, пескарь) на всех станциях состояло в основном из бентоса. Ширина пищевой ниши трѐхиглой и девятииглой колюшек по нашим расчетам была равна 0.11±0.03 и 0.27±0.08 соответственно, что в целом приближает данные виды рыб к пищевой стратегии вида-монофага (ширина пищевой ниши у таких видов равна 0). В данном исследовании это объясняется тем, что на станции отбора проб в питании колюшек обоих видов одновременно доминировали всего 2 максимум 3 таксона (рис. 2), все остальные хоть и присутствовали в питании рыб составляли всего несколько процентов (суммарно не более 10%). Аналогичную тенденцию можно отметить и у остальных карповых видов рыб, ширина их ниш не превышала значения 0,3.

При сравнении полученных нами данных с литературными были обнаружены некоторые отличия - в питании плотвы мы почти не обнаружили растительных остатков, питание уклейки состояло более чем на 90% из разных стадий Diptera, планктонных же организмов почти не выявлено, что для молоди уклейки не характерно (Politou, 1993). Для других видов наши результаты отличалось несущественно. Основываясь на изученных нами спектрах питания, можно сделать предварительное заключение о том, что трѐхиглая колюшка потенциально может составлять пищевую конкуренцию всем рассмотренным выше видам рыб. Также, существует потенциал для конкуренции между девятииглой колюшкой и остальными видами рыб, и между всеми рассмотренными видами карповых рыб.

Чтобы количественно оценить возможную конкуренцию за кормовые ресурсы между трехиглой колюшкой и другими рассматриваемыми видами рыб был использован индекс перекрывания ниш питания – индекс Пианки (Pianka, 1969). Чем выше его значение, тем больше потенциальная конкуренция между видами (Novakowski, 2007). Перекрытие ниш и возможная конкуренция считалась биологически значимой в случаях, когда значения индекса Пианки были больше 0.6 (Zaret and Rand, 1971).

Для трѐхиглой и девятииглой колюшек, чей спектр питания был крайне схож, как суммарно по всем станциям, так и попарно на отдельных из них (рис. 2), потенциальная конкуренция была отмечена на всех станциях где одновременно обитали виды. Среднее значение индекса для трѐхиглой и девятииглой колюшек было равно 0.8±0.11, доходя на отдельных станциях до 1, а минимальное зарегистрированное значение равнялось 0.4. На данной станции питание этих видов было наиболее разнообразным, а перекрывание спектров питания - наименьшим (табл. 1). С другими видами у трѐхиглой колюшки конкуренция не была выявлена, так как у них в спектрах питания доминировали иные таксоны, а значения индекса Пианки (0.05 - 0.26) было ниже чем пороговое значение для формального выявления конкуренции между видами (0.6) (табл. 1).

Таблица 1. Значения индекса напряженности пищевых отношений (индекс Пианки) для массовых видов рыб в прибрежной зоне восточной части Финского залива.

Pianka's index	*G. aculeatus*	*P. pungitius*	*A. alburnus*	*G. gobio*
P. pungitius	**0,98**	-	**0,05**	**0,14**
A. alburnus	**0,07**	**0,05**	-	**0,26**
G. gobio	**0,06**	**0,14**	**0,26**	-
R. rutilus	**0,17**	**0,11**	**0,89**	**0,23**

Что касается взаимодействия остальных видов между собой, то следует отметить конкуренцию уклейки и плотвы, для которых были отмечены почти такие же высокие показатели индекса Пианки, как и для трѐхиглой и девятииглой колюшек - 0,89, основой для их конкуренции возможно, были imago Diptera, игравшие значительную роль в питании обоих видов. Для пескаря не была выявлена конкуренция ни с одним из рассмотренных видов рыб, что можно объяснить тем, что в его питании доминировали таксоны, не вносящие ощутимого вклада в питание других рыб.

По результатам данной работы можно предварительно заключить, что несмотря на резкое увеличение численности трѐхиглой колюшки в прибрежной зоне восточной части Финского залива в период ее нереста, прямой конкуренции с другими прибрежными видами рыб, кроме девятииглой колюшки (индекс Пианки 0.8±0.11) пока выявлено не было. В питании колюшки и остальных рыб доминировали разные таксоны организмов, а значение значения индекса перекрывания ниш не превышало 0.26. В дальнейшем планируется расширить исследование новыми, уже сезонными данными по питанию прибрежных рыб восточной части Финского залива собранными в 2020 году, что позволит точнее описать пищевые взаимоотношения прибрежных рыб как в период массового нереста колюшки (май- июнь), так и в ее отсутствие (август-сентябрь).

Данная работа поддержана грантом РНФ 19-14-00092 “Осиная талия” экосистем северных морей: долговременная динамика, популяционная структура и трофические связи массовых пелагических рыб Белого и Балтийского морей”.

ВИДЫ-ВСЕЛЕНЦЫ В ЛЕТНЕМ ЗООПЛАНКТОНЕ РАЗНЫХ РАЙОНОВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Полунина Юлия Юрьевна, Уткина Яна Васильевна

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

Введение

Балтийское море, характеризующееся изменчивостью термохалинных показателей вод, испытывает и постоянную антропогенную нагрузку: эвтрофирование, химическое загрязнение, рыболовство и т.п., кроме того, происходит вселение и расселение по акватории чужеродных видов. Частота вселений в Балтику планктонных организмов значительно ниже, чем бентосных, в настоящее время отмечено пять чужеродных видов зоопланктона – четыре вида планктонных ракообразных и один вид гребневиков [Ojaveer et al., 2016]. В современный период в северной части моря отмечены четыре чужеродных вида *Acartia tonsa, Cercopagis pengoi, Evadne anonyx, Cornigerius maeoticus maeoticus*. В Южной Балтике зарегистрированы три вида-вселенца (*A. tonsa, C. pengoi, E. anonyx*) и по данным [Щука, Щука, 2016] встречены яйца гребневика *Mnemiopsis leidyi*.

Калянида *Ac. tonsa* сначала была отмечена в Северном море в начале XX в. [Redeke, 1934; 1935], а затем проникла в Балтику [Rzóska, 1939]. Три вида понто-каспийских кладоцер, впервые зарегистрированные в Финском и Рижском заливе в конце XX в., вероятно, попали туда с балластными водами судов, а затем распространились по другим районам Балтийского моря. Сведения о встречаемости, распределении, количественных показателях и структуре популяций неаборигенных видов в зоопланктоне разных частей Балтики по данным даже одного года оказываются полезными для оценки текущего состояния и многолетней динамики количественных показателей этих видов.

Цель работы – охарактеризовать состояние популяций видов-вселенцев зоопланктона в южной, центральной части Балтийского моря и в Финском заливе в летний период 2016 г. и 2018 г.

Материал и методы

Мезозоопланктон отобран в 32 рейсе НИС «Академик Н. Страхов» 02.08-16.09. 2016 г. в Южной и Центральной Балтике, (глубины на станциях 58- 212 м) и 43 рейсе НИС «Академик Б. Петров» в Юго-Восточной Балтике (ЮВБ) и в Финском заливе (ФЗ) 27.07-04.08.2018 г. (глубины 10-102 м). В Южной Балтике выделены три района – Борнхольмская впадина (I), Слупский желоб (II), Гданьская впадина (III); в Центральной Балтике – Готландская впадина (IV), Фарё (V), Северо-Балтийская (V).

Горизонты отбора проб зоопланктона выбирали после зондирования CTD-зондами Idranaut-320c привязкой к положению сезонного термоклина и перманентного галоклина. Планктонной сетью WP-2 (Ø=56 см, ячея 100 мкм) облавливали весь столб воды от поверхности до дна (тотальный лов), и слои воды – от термоклина до поверхности (верхний квазиоднородных слой – ВКС); от галоклина до поверхности. Данные по температуре и солености воды получены CTD-зондами. При анализе размерно-возрастной структуры популяций кладоцер всех особей разделяли на ювенильных, самцов, партено- и гамогенетических самок; измеряли длину тела. Подсчитывали количество партено- и гамогенетических яиц в выводковой сумке, измеряли длину эмбрионов.

Результаты и обсуждение

В летнем зоопланктоне открытой части Южной и Центральной Балтики в 2016 г. было отмечено три чужеродных вида: веслоногий рачок *Ac. tonsa*, две кладоцеры *C. pengoi, E. anonyx*. На всех станциях встречалась *Ac. tonsa*. Численность ее варьировала от 96 до 1801 экз./м^3. Распределение этого вида было не равномерным, высокие численности отмечены в Южной Балтике и Готландской впадине, севернее о. Готланд ее численность была

существенно ниже (табл.1). В популяции были отмечены все ювенильные стадии, половозрелые самки и самцы.

Две кладоцеры в открытой части Южной Балтики не встречались, они были отмечены только в районе о. Готланд: *C. pengoi* был отмечен на двух станциях, а *E. anonyx* – на одной станции в Северо-Балтийской впадине, там, где соленость поверхностных вод была ниже, чем в других районах Балтики – около 6 епс (табл. 1). Численность этих видов и их доля в общей численности кладоцер и всего зоопланктона была крайне низка: 0.3% и 0.05%, соответственно.

Таблица 1. Средняя численность видов-вселенцев в поверхностном слое воды, температура воды и соленость в разных районах Балтики, лето 2016 г.

Показатели /районы моря		*Acartia tonsa*	*C. pengoi*	*E. anonyx*	T воды пов/дно	S епс пов/дно
Южная Балтика	**I**	948	0	0	18.5/6.7	7.7/18.4
	II	505	0	0	18.2/6.0	7.2 /14.1
	III	486	0	0	19.2/6.8	7.2 /13.4
Центральная Балтика	**IV**	966	0	0	17.1/ 6.6	6.7/ 13.1
	V	147	1.5	0	16.3/ 6.5	6.2/ 12.4
	VI	96	7.0	7.0	15.9/ 6.2	6.1/ 11.7

Популяция церкопагиса была представлена, в основном, партеногенетическими самками с длинной тела 1.31-1.98 мм. В популяции отмечены самцы длиной 1.27-1.77 мм и гамогенетические самки, несущие одно яйцо. Доля полового поколения в популяции церкопагиса составила 33%. У партеногенетических самок отмечено от 5 до 20 эмбрионов (в среднем 9.7). Популяция *E. anonyx* была представлена преимущественно партеногенетическими самками с длиной (высотой) тела 0.45-0.58 мм, несущими 5-11 яиц (в среднем 5.5). Было зафиксировано только несколько ювенильных особей, средняя длина которых составила 0.42±0.03 мм. Отмечено половое поколение, представленное только гамогенетическими самками с двумя яйцами, однако доля его составила всего 2 %. В целом, популяции чужеродных видов кладоцер характеризовались низкими численностями и долей в общей численности зоопланктона, но в популяциях отмечен партеногенез и двуполое размножение.

В летний период 2018 г. в ЮВБ и Финском заливе гидрофизические показатели вод отличались, особенно выжаренные отличия были по солености и температуре придонного слоя (табл.2).

Таблица 2. Гидрофизические показатели вод ЮВБ и Финского залива, 27.07-04.08.2018 г

Акватории / Показатели	ЮВБ	Финский залив
ВКС, глубина слоя, м	10-15	7-11
ВКС T воды, C^{o}	21.7-23.4	18.3-23.1
ВКС, соленость, епс	ок 7.5	2.9-3.9
Галоклин, глубина, м	57-66	16-20
Придонная соленость, епс	10.8-12.0	8.7-9.0
Придонная T воды, C^{o}	9.0±4.9	4.0±0.2

В зоопланктоне были отмечены те же три чужеродных вида, что и в 2016 г. При этом в ЮВБ наиболее многочисленной была акартия, которая встречалась на всех станциях. Ее численность в слое ВКС варьировала от 0.03 до 44.2 (в среднем 5.3) тыс. экз. /$м^3$. Высокие численности этого вида в июле типичны для этого района моря [Полунина, 2018]. Церкпагис и евадне были отмечены на большей части акватории ЮВБ – как в прибрежной части, так и

открытой, однако численность этих видов была гораздо ниже, чем акартии. Численность *C. pengoi* варьировала от 1 до 808, а *E. anonyx* – от 2 до 146 экз./м^3.

В Финском заливе (район о. Гогланд) виды-вселенцы отмечены на всех станциях, наибольшие численности была характерны для *C. pengoi* и составили 53-101 экз./м^3. Численность других видов были не высоки (табл.3). В целом, в ЮВБ средние количественные показатели видов-вселенцев были выше, чем в Финском заливе, за исключением церкопагиса (табл.3). Однако максимальные значения церкопагиса были выше в ЮВБ.

Таблица 3. Средняя численность (экз./м^3) и биомасса (мг/м^3) видов-вселенцев в Балтике, июль 2018 г.

Виды/ акватория	ЮВБ	Финский залив
A. tonsa	5253 / 189	20 /1
C. pengoi	62 / 15	85 / 27
E .anonix	33 / 3	10 / 1

Средние длины особей церкопагиса в ЮВБ и ФЗ сопоставимы: молодь имела средний размер 1.1, самцы 1.4-18 мм, а самки 1.7-2.2 (ЮВБ) и 1.7-2.0 мм (ФЗ). Максимальные длины самок отмечены в ЮВБ. Партеногенетические самки почти все были с яйцами и несли 4-11 яйца (в среднем 6.5). У гамогенетических самок отмечено 1-2 яйца. Доля полового поколения была не высока в обоих районах исследования, была представлена, преимущественно, самцами. Это указывает на начало перехода популяций к двуполому размножению.

Особи *E. anonyx* из ЮВБ имели среднюю длину тела 0.43±0.03 мм (молодь) и 0.59±0.13 мм (самки), а в ФЗ – 0.45±0.15 мм (молодь) и 0.58±0.18 мм (самки). Число особей у партеногенетических самок было не велико, в ФЗ 2-4, в ЮВБ 3-8 яйца.

Заключение

В Южной и Центральной Балтике, а также в Финском заливе летом 2016 и 2018 г. отмечены три неаборигенных вида планктонных ракообразных: калянида *Ac. tonsa* и две кладоцеры *C. pengoi* и *E. anonyx.* Встречаемость и распределение этих видов в разных районах моря обусловлены соленостными и температурными условиями, однако все виды сосредоточены в поверхностном слое воды до термоклина. *Ac. tonsa* отмечена повсеместно, но наибольшая ее численность и биомасса была в Южной Балтике (в ср. около 1-5 тыс. экз./м^3 и 50-100 мг/м^3). Две понто-каспийские кладоцеры отмечены в ЮВБ, Центральной Балтике и Финском заливе, однако численность их не велика (в среднем 10-85 экз./м^3), и доля этих кладоцер в общем зоопланктоне не превышала 0.05%. Многочисленнее был *C. pengoi*. Популяции отмеченных видов-вселенцев были представлены всеми возрастными и половыми группами. У кладоцер были отмечены и партеногенез и двуполое размножение. Это дает основание заключить, что все чужеродные виды планктонных ракообразных образовали устойчивые саморазмножающиеся популяции в исследованной акватории Балтики.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН №0149-2019-0008.

Список литературы

Ojaveer H., Olenin S., Narščius A. et al. Dynamics of biological invasions and pathways over time: a case study of a temperate coastal sea. Biological Invasions. 2016, printed on-line 5 November 2016, DOI 10.1007/s10530-016-1316-x.

Redeke H.C. Acartia tonsa Dana ein nouer Copepoda des Niederlandishen Brachwasser// Archives Néerlandaises de Zoologie. 1935. L: 315-329.

Redeke H.C. On the occurrence of two pelagic copepods, Acartia bifilosa and Acartia tonsa in brackish waters of the Netherlands// Journal Cons.perm. int. Explor. Mer. 1934. 9:39-43.

Rzóska Ju. Materiały do znajomości plamktonu Małego morza. Copepoda/ Archiwum hydrobiologii i rybactwa. Redaktorzy: Bogucki M., Litynski A. 1939. T. XII, Nr. 1-2. Suwałki. P. 55-87.

Щука Т.А., Щука С.А. Динамика количественных характеристик чужеродных видов зоопланктона в юго-восточной части Балтийского моря в июле 2003 – 2015 гг. в связи с термохалинными условиями // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2016. №1, Т. 27. С. 86-108.

Полунина Ю.Ю. Стратегии размножения чужеродных планктонных ракообразных в Юго-восточной Балтике // Российский Журнал Биологических Инвазий № 4, 2017. С. 96-105. Polunina Ju. Ju. Reproductive Strategies of Non-Native Planktonic Crustaceans in the South-Eastern Baltic Sea // Journal of Biological Invasions, 2018, Vol. 9, No. 1, pp. 75–82. DOI: 10.1134/S2075111718010149

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Удовик Дмитрий Александрович [1], Шабалин Николай Вячеславович[1], Турчин Роман Валерьевич[2], Доценко Борис Александрович[2]

[1]ООО «Центр Морских Исследований МГУ имени М.В. Ломоносова», Москва.

[2]ООО «Газпромнефть-Сахалин», Санкт-Петербург.

Введение и актуальность

В настоящее время в связи с резким сокращением популяции китообразных в мировом океане возникла необходимость дистанционного контроля за перемещением этих крупных морских млекопитающих (Ragen, 2005). Особенно актуальна эта задача в мелководных районах на морском шельфе, где вероятность негативного антропогенного воздействия очень велика (Patin, 2004). Антропогенное влияние часто является комплексным и сопровождаются синергическими и кумулятивными эффектами. Вместе с тем необходимо отделять процессы изменения биоразнообразия в результате хозяйственной деятельности от естественных процессов его развития.

Антропогенное шумовое загрязнение от судоходства, забивки свай, использования взрывчатых веществ, высокоинтенсивных активных гидроакустических операций, сейсморазведки и многих других видов деятельности может маскировать звуки общения морских млекопитающих, вызывать изменения в поведении этих животных, отпугивать животных от важных мест обитания (нагульные акватории, места концентраций, лежбища и места летовок, зимовок, размножения и т.д.) и вызывать слуховые травмы или смерть (в крайних случаях: Erbe, 2002; Ketten, 2012; Southall et al., 2007). Для снижения риска потенциального воздействия от мероприятий хозяйственного освоения шельфа требуется осуществлять мониторинг зон воздействия на наличие морских млекопитающих (ACCOBAMS Scientific Committee, 2004; JNCC, 2010a, 2010b, 2010c; Nowacek et al., 2016).

Традиционно этот вид мониторинга проводится визуально, подразумевает обученных наблюдателей за морскими млекопитающими (ММО). Визуальные методы, однако, ограничены светлым временем суток и относительно хорошими погодными условиями. Визуальное обнаружение часто субъективно и одномоментно, поэтому трудно или невозможно подтвердить или пересмотреть обнаружение на более поздних этапах, т.к. как не всегда удается сфотографировать животное. Эффективность, с которой ММО может визуально обнаружить животное, снижается погодными условиями, такими как туман, дождь, состояние открытого моря (волнение, зыбь), солнечные блики или отсутствие света. Визуальное обнаружение в ночное время без помощи дополнительного оборудования невозможно. Поведение животных, такое как ныряние и недемонстративное присутствие на поверхности моря, также может снизить вероятность обнаружения. В подобных условиях, когда на первый план выступает своевременное обнаружение животных, применение инструментальных методов регистрации становится единственным способом для применения оперативных мер минимизации воздействия. Одним из таких методов является тепловизионный мониторинг морских млекопитающих.

Методика

Термография – это метод визуализации, с помощью которого регистрируют инфракрасные волны в электромагнитном спектре, испускаемые всеми объектами на Земле. Состояние и свойства исследуемых объектов и организмов могут быть оценены путем анализа

изображений распределения температуры на их поверхности. В естественных науках тепловизионные методы используются для безопасных и неинвазивных измерений и получения результатов, которые не могут быть получены никаким другим методом. Несмотря на широкий спектр практических применений, тепловизионная и инфракрасная съемка съемка имеют ряд ограничений, которые следует учитывать в исследованиях, основанных на методах термографии. ИК-видеокамера имеет встроенную инфракрасную подсветку. Работает такое оборудование за счёт фиксации отраженного инфракрасного излучения, которое невидимо человеческому глазу, однако достаточного для того, чтобы сделать качественный кадр. Тепловизионное оборудование также работает в инфракрасном диапазоне, но изображение, получаемое с прибора, отображает излучаемое температурное поле объекта. Тепловизоры, функционирующие с излучением длинных волн - LIWR (от 8 до 14 мкм), больше всего приспособлены для контроля объектов, температура которых максимально близка к температуре окружающей среды. Высокая чувствительность этих устройств и качественное отображение фактической температуры вызваны расположением в данном диапазоне максимумов излучательной способности объектов, температура которых составляет от 0 до 100° С (что соответствует 10,6-7,8 мкм) Тепловизионные камеры широко используются для наблюдения и обнаружения животных, а также для оценки численности их популяций. Данные визуализируются в виде теплых пятен на темном, прохладном фоне термограммы, и этого достаточно для подтверждения присутствия животных.

Инструментальный метод тепловизионного мониторинга применялся авторами в период проведения сейсморазведочных работ у восточных берегов о. Сахалин в мае - сентябре 2019 г. При проведении работ применялась стандартная методика минимизации воздействия, включающая визуальные наблюдения силами специалистов ММО. Запрещалась активация любых источников шумового воздействия при наличии в акватории морских млекопитающих (радиус 500 м. вокруг источников воздействия), моментальная деактивация источников воздействия в случае появления морских млекопитающих в акватории на дистанции 500 м. и менее. Дополнительно была введена зона безопасности для вида серый кит (1500 м), когда решение о применении мер минимизации оставалось за старшим специалистом ММО. В случае невозможности осмотра акватории невооруженным глазом (например, темное время суток или туман), решение о наличии ММ в зонах безопасности принималось на основании информации с сонара и тепловизионных камер. В случаях, когда видимость позволяла осмотреть акваторию, информация с комплекса системы активного акустического мониторинга (ААМ) и тепловизоров коррелировалась с визуальными наблюдениями за счет взаимоподверждения идентификации китов, наблюдения велись силами специалиста ММО, оператора ААМ и оператора тепловизионных камер.

На основании анализа источников, для своевременного обнаружения морских млекопитающих из всего представленного на коммерческом рынке массива были выбраны и установлены на судне две тепловизионные камеры высокого теплового и пространственного разрешения (AT 640 PRO-60, Таблица 2.1-1, Рис. 2.1-1).

Таблица. 1.1 - 1. Характеристики оборудования комплекса ТВК

Type	**Value**
The detection range of the person	2000 m
Sensor type	Uncooled microbolometer
The resolution matrix	640x480
Field of view (HxV)	10°×8°
The focal length of the lens	60 mm
Zoom	12× digital
Visual settings (OSD)	Yes
Spectral range	8–14 mkm (LWIR)
Video output	PAL 50 Hz (BNC)
Horizontal rotation angle	n ×360° continuous
Horizontal rotation speed	0,05–80°/c
Vertical rotation angle	–25°...+90°
Vertical rotation speed	0,05–60°/c
Operating temperature	От –40°С до +60 °С
Protection class	IP66 (sealed system for outdoor use)
Security entrance window	High-strength protective window with diamond-like coating (DLC)

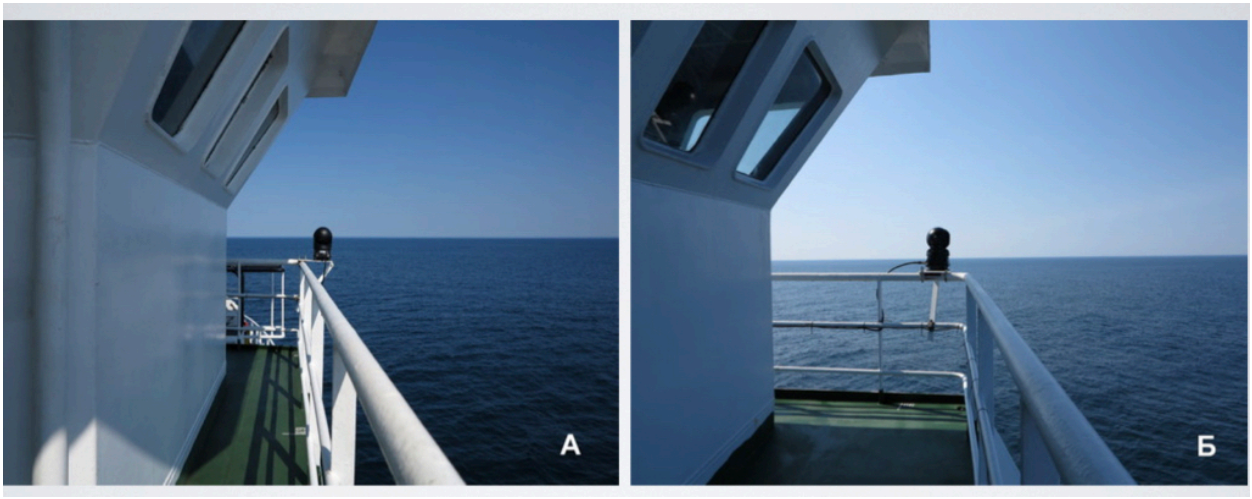


Рис. 1.1 - 1. Камеры тепловизионной системы. А - правый борт, вид по курсу судна; Б - левый борт, вид с правого борта

Тепловизионные камеры постоянно сканировали поверхность воды, а применяемые цифровые алгоритмы распознавания искали тепловые аномалии во входящих изображениях для выбора потенциальных целей (алгоритм отслеживания движения программного обеспечения Macroscop 2.5). Для получения возможности определения расстояния до зафиксированных камерой морских млекопитающих была сделана серия эталонных снимков, медленно сближающихся с исследовательским судном технических объектов с отслеживанием расстояния до этих объектов по судовому радару. В качестве эталонных измерений на этих снимках было использовано расстояние по вертикали между линией горизонта и ватерлинией объекта.

Кинематика камер допускает круговой обзор в горизонтальной плоскости и обзор в пределах 118° по вертикали (–20°…+90° относительно горизонтальной плоскости). Местоположение камер относительно надстройки мостика и палубного оборудования судна ограничивало горизонтальную обзорность каждой из них секторами в 260…263°. При этом за кормой существовала не просматриваемая зона, ограниченная бортами судна. Без трансфокации (zoom 1x) поле зрения камер (10,3°(гориз.) ×7,8°(верт.) охватывало поверхность моря от горизонта (верхний край кадра) до уровня 50…60 м от вертикали в точке установки камер (нижний край кадра). При одновременной работе камеры позволяли одномоментно наблюдать 20-градусный сектор поверхности моря.

Рабочее место оператора ТВС располагалось в помещении ходового мостика. Здесь были расположены штатные пульты управления камерами (Рисунок 2.1-2) и ПК.



Рис. 1.1 - 2. Штатный пульт управления тепловизионной камеры (А) и смонтированная на крыле судна камера (Б).

Сигнал с камер поступал на ПК рабочего места оператора через сервер судовой компьютерной сети. Для приёма сигнала на компьютер оператора было установлено программное обеспечение – пользовательский терминал Macroscop Клиент v2.5.158. В интерфейсе терминала сигнал с камер выходил на экран компьютера в виде двух окон с видеоизображением и справочной информацией – индикацией ориентации оптических осей камер (числовой и пиктографической), датой, временем наблюдений и кратностью трансфокации (Рисунок 2.1-3). Дополнительно на компьютер оператора была установлена программа Debut Professional v.4.0, позволявшая в ручном режиме делать снимок экрана или видеозапись.

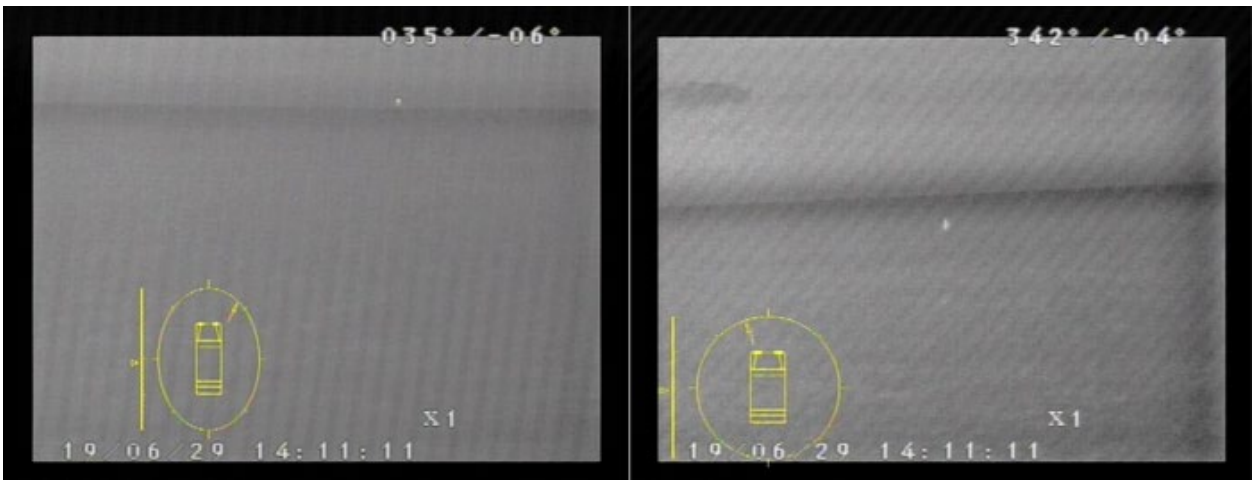


Рис. 1.1 - 3. Окна камер тепловизионной системы в пользовательском терминале Macroscop. В нижнем правом углу правого окна - органы управления камерой правого борта.

Терминал Macroscop позволял подключить функции детекции движения в кадре и его автоматического захвата. Был возможен один из двух вариантов детекции – самой камерой или терминалом. Чувствительность детекции была различной. В первом случае (камера) чувствительность была ниже, однако в условиях качки (волнение 2 балла и выше) оба алгоритма начинали реагировать на движение в кадре волн и линии горизонта, формируя "архив" из тысяч пустых снимков. По этой причине от использования автоматического детектора движения пришлось отказаться в пользу ручного режима захвата изображений.

Наблюдения с использованием ТВС производились только в тёмное время суток. Включение и выключении производилось, соответственно, в закатные или рассветные сумерки, в условиях, когда непосредственная видимость снижалась или, наоборот, увеличивалась до 500-600 м. При включении ТВС оптические оси камер устанавливались в направлении курса судна (354º - левая, 006º - правая) таким образом, что их поля зрения смыкались на расстоянии порядка 1,5-2 км, а поверхность моря занимала всё поле обзора по вертикали. Соблюдения последнего условия удавалось добиться при волнении до 2-х баллов. При появлении заметной килевой качки линия горизонта начинала существенно перемещаться по вертикали в поле зрения камер. В таких условиях вертикальная ориентация оптических осей производилась так, чтобы линия горизонта не перемещалась выше верхней границы поля зрения. Ориентация камер по курсу движения судна была основной. Из этого положения начинались и в нём закачивались просмотры окружающей акватории по обоим бортам судна до границ не просматриваемого сектора по корме. Сканирование прилегающей акватории производилось с угловой скоростью 3,6º/сек.

Задачи наблюдений с использованием ТВС состояли в обнаружении в окружающей судно акватории ММ, отслеживании их перемещения и определении расстояния между обнаруженными объектами и буксируемым за судном оборудованием. Появление в поле зрения камер ММ распознавалось как подвижная световая аномалия с характерными очертаниями фонтана (китообразные) или контура тела (китообразные, хищные и птицы), контрастно выделяющаяся на фоне поверхности моря. Фонтаны китообразных были абсолютно надёжным индикатором появления этих животных в наблюдаемой акватории.

По изменению азимута оптической оси камеры и расстояния до фонтана было возможно отслеживать изменение положения китообразных относительно судна. Для получения возможности определения расстояния до зафиксированных камерой объектов была проделана дополнительная работа. Была сделана серия снимков, медленно сближающихся с НИС

технических объектов с отслеживанием расстояния до этих объектов по судовому радару. Была получена эталонная серия снимков с интервалами 100 м (дистанция 0-2 км), 200 м (2-3 км), и 500 м (3-4 км). В качестве эталонных измерений на этих снимках было использовано расстояние по вертикали между линией горизонта и ватерлинией объекта. В дальнейшей работе сопоставление эталонных измерений с аналогичными измерениями рабочих снимков позволяло определять расстояние до ММ с соответствующей удалению точностью – 100, 200 или 500 м. Регистрация ММ, обнаруженных с помощью ТВС производилась по следующему алгоритму: при обнаружении объекта в окне тепловизора делался снимок экрана, с помощью GPS-навигатора регистрировалась точка встречи, и данные вносились в электронные формы регистрации встречи ММ. Далее производилось отслеживание перемещения объекта относительно судна для определения вероятности его попадания в опасную зону. Отслеживание перемещения объекта прекращалось после того, как становилось ясно, что он удаляется от границ опасной зоны, или объект исчезал из поля зрения более чем на 20 мин. В случае приближения ММ к границам опасной зоны оператор ТВС связывался с операторами источников воздействия на судне и предупреждал о возможной необходимости деактивации. Если животное пересекало границы опасной зоны оператор ТВС давал команду на деактивацию. За весь период работ система проработала 1006 часов. Продолжительность непрерывной ежесуточной работы в конце июня составляла 7-9 часов, а ко времени окончания работ в октябре увеличилась до 12-13 часов.

Результаты апробации метода

Наблюдения с использованием ТВС показали, что в отсутствие ухудшающих видимость погодных условий камеры формируют изображение, достаточно чёткое и контрастное для того, чтобы распознать оказавшийся в поле зрения источник теплового излучения. Система позволяла наблюдать достаточно чёткие контуры судов, фонтаны выдоха китов, летящих или сидящих на воде птиц (Рисунок 3.1-1…3.1-2). Компенсирующая узость поля зрения и горизонтальная подвижность оптической оси камер позволяют производить обзор всей окружающей акватории. Ещё одно необходимое для 360-градусного обзора условие – отсутствие препятствий, перекрывающих видимость. Расположение камер относительно надстроек и палубных сооружений на судне позволяло вести наблюдения в пределах 340-градусного сектора. Палубные надстройки и сооружения делали не просматриваемым 20-градусный сектор акватории за кормой судна.

За период работ с использованием ТВС было зарегистрировано 56 встреч с 63- я особями крупных китообразных: 49 одиночных встреч и в 7 случаях по 2 животных (Рисунок 3.1-3, Таблица 3.1-1). Как видно из графика, наибольшее количество встреч посредством ТВС зарегистрировано в сентябре. В июне была зарегистрирована единственная встреча одной особи. В июле и августе количество встреченных животных было одинаково – по 13 особей. В сентябре встречаемость возросла более чем вдвое. Было зарегистрировано 25 встреч с 30-ю особями. В октябре работы и транзит в порт продолжались первые две декады месяца. За этот период было зарегистрировано 4 одиночные встречи с усатыми китами.



Рис. 1.1 - 4. Фонтан усатого кита, расстояние 900 м от камеры



Рис. 1.1 - 5. Птица (красный круг), летящая за кормой НИС "Николай Трубятчинский", стрелкой обозначено забортное судовое оборудование правого борта (расстояние 200 м от камеры

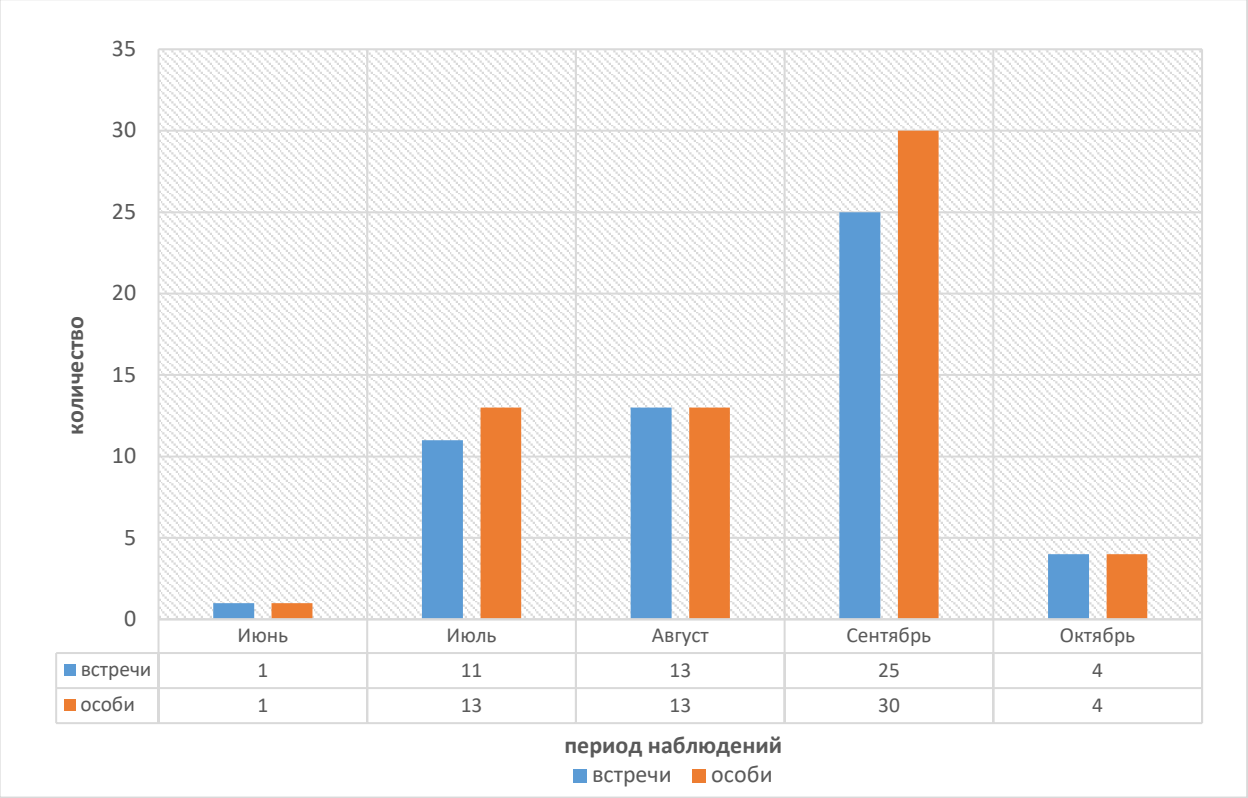


Рис. 1.1 - 6. Соотношение встреч китообразных, зарегистрированных в тёмное время суток с помощью ТВС по месяцам

С помощью ТВС 4 раза было зарегистрировано появление китов в опасной зоне с последующей деактивацией ПИ. Расстояния, на которых с помощью ТВС были зафиксированы фонтаны китов варьировали от 450 м до 4200 м. Наибольшее количество – 24 встречи и 24-х животных зарегистрировано в диапазоне 1…2 км. На расстояниях до 1 км было зарегистрировано 15 встреч с 16-ю животными; в диапазоне 2-3 км – 11 встреч с 17-ю китами; 5 встреч с 5-ю особями были зафиксированы на удалении более 3 км.

Таблица. 1.1 - 2. Количество зарегистрированных китов системой ТВК за период проведения 3-D МОГТ

Дата	Широта,	Долгота,	Кол-во особей	Дистанция до судна	Визуально зарегистрирован (Да/Нет)?
29.06.2019	052.0319	143.8900	1	-	нет
10.07.2019	052.0476	143,8929	1	4200	нет
10.07.2019	052.0499	143.8620	1	900	нет
10.07.2019	052.0511	143.8311	1	2700	нет
10.07.2019	052.0545	143.7397	1	2000	нет
10.07.2019	052.0445	143.8253	1	1500	нет
10.07.2019	052.0556	143.8868	1	2000	нет
16.07.2019	052.0820	143.8491	2	2200	нет
16.07.2019	052.0786	143.9460	1	4200	N
16.07.2019	052.0816	143.8732	2	3000	N
19.07.2019	052.0461	144.0424	1	1500	N
31.07.2019	052.1223	143.8716	1	700	N
04.08.2019	052.1334	143.8215	1	1000	N
04.08.2019	052.1329	143.8603	1	1500	N
04.08.2019	052.1226	143.8934	1	1700	N

Дата	Широта,	Долгота,	Кол-во особей	Дистанция до судна	Визуально зарегистрирован (Да/Нет)?
08.08.2019	052.1400	143.8659	1	1700	N
18.08.2019	052.1184	143.8949	1	1200	N
21.08.2019	052.1646	143.8305	1	1300	N
21.08.2019	052.1658	143.7966	1	900	N
21.08.2019	052.1652	143.8397	1	500	N
22.08.2019	052.1703	143.7996	1	3000	N
23.08.2019	052.1735	143.7939	1	1500	нет
24.08.2019	052.1780	143.7991	1	2500	нет
27.08.2019	052.1895	143.8287	1	1400	N
29.08.2019	052.1937	143.8308	1	900	N
01.09.2019	052.2081	143.8542	2	3000	N
01.09.2019	052.2091	143.8280	1	2000	N
01.09.2019	052.2109	143.8147	1	1150	N
01.09.2019	052.2109	143.8147	1	4200	N
01.09.2019	052.2109	143.8147	1	4200	N
01.09.2019	052.2083	143.8814	2	2700	N
01.09.2019	052.2083	143.8814	2	2700	N
06.09.2019	052.2264	143.8786	2	3000	нет
06.09.2019	052.2309	143.7825	1	1200	нет
10.09.2019	052.2387	143.7912	1	750	N
10.09.2019	052.2397	143.7907	1	1550	N
10.09.2019	052.2410	143.7571	1	1500	N
11.09.2019	052.2159	143.8243	1	1500	N
11.09.2019	052.2273	143.8942	1	3000	N
11.09.2019	052.2440	143.8011	1	1450	N
12.09.2019	052.2369	143.6634	1	1250	N
14.09.2019	052.2514	143.8293	2	750	N
15.09.2019	052.2567	143.8224	1	950	N
15.09.2019	052.2616	143.7319	1	3500	N
16.09.2019	052.2609	143.8179	1	1800	нет
17.09.2019	052.2514	143.6993	1	1000	нет
20.09.2019	052.2723	143.8493	1	1000	нет
28.09.2019	052.2932	143.8485	1	2150	N
28.09.2019	052.2935	143.8370	1	1750	N
28.09.2019	052.2944	143.8439	1	1600	N
07.10.2019	052.3415	144.0412	1	1650	N
07.10.2019	052.3449	143.9571	1	300	N
14.10.2019	052.1585	143.8623	1	500	N
15.10.2019	052.2154	143.8377	1	1050	N
15.10.2019	052.1683	143.8503	1	500	N
15.10.2019	052.1482	143.8749	1	400	N

Для сравнения следует отметить, что за 3 полных месяца ТВС-наблюдений (июль - сентябрь), в ходе визуальных наблюдений в светлое время суток было зарегистрировано на порядок больше китообразных и хищных – 577 встреч 783 особей. При этом как при наблюдениях с помощью ТВС, так и при визуальных, прослеживается слабая тенденция к увеличению количества ММ в последней декаде августа - начале сентября.

Обсуждение

Значительно меньший объем (9.71%) зарегистрированных особей посредством системы ТВС, по сравнению с количеством зарегистрированных визуально встреч выглядит закономерным по следующим причинам:

- Технические возможности ТВС позволяли одномоментно наблюдать лишь 20-градусный сектор поверхности моря, что составляет 5,6% окружающей акватории и в 9 раз меньше горизонтального угла поля зрения наблюдателя, работающего в светлое время суток. Соответственно, вероятность фиксации такого кратковременного события, как фонтан кита, при ТВС-наблюдениях существенно ниже, чем при визуальных.
- Обработка данных визуальных и ТВС-наблюдений за июль - сентябрь показала, что общая продолжительность визуальных (1391 ч.) в 1,7 раза превосходит продолжительность наблюдений с использованием ТВС (817 ч.).
- Повторяемость погодных условий, снижающих видимость до уровня менее 0,5 км в светлое время суток и критически ухудшающих видимость ТВС, в ночные часы была значительно выше, чем днём.

Вместе с тем, необходимо отметить выявленные технические недостатки ТВС. Практика показала, что при определённых погодных условиях качество формируемого камерами изображения резко снижается. В туман, дымку, морось, дождь качество изображения ухудшается по мере увеличения плотности аэрозольной влаги. Исчезают контрастные детали. В плотном тумане и плотной мороси камеры "слепнут" полностью и не обнаруживают фигуру человека на расстоянии ~ 20 м. Сходный, но выраженный несколько слабее, эффект оказывает плотный и низкий облачный покров (сплошная облачность). Неблагоприятным для наблюдения оказываются волнение моря уровнем 3 и более баллов – распознавание объектов затрудняет высокий уровень подвижности изображения. Крайне неблагоприятным оказывается сочетание волнения и ясного небосвода, особенно в лунные ночи – к значительной подвижности изображения добавляется бликующая поверхность моря. При перечисленных погодных условиях проведение ТВС-наблюдений становится малоэффективным. Узость поля зрения компенсировала возможность поворота оптических осей камер. Однако практика показала, что отслеживание перемещения китообразных по периодически появляющимся фонтанам на расстояниях менее 700-800 м оказывается не всегда успешным.

С помощью тепловизионной системы (ТВС) мониторинга не удалось зарегистрировать встреч с хищными или мелкими китообразными. Однако, факт регистрации камерами морских птиц говорит о том, что распознавание некрупных млекопитающих (тюлени и дельфины) технически возможен. Возможности ТВС, также открывают широкие возможности для детектирования хищных на ледовых залежках и мониторинга особей белого медведя.

Также необходимо отметить факт положительного опыта при использовании тепловизионных камер, так как задача состояла не в количественном учете особей морских млекопитающих, а в своевременном обнаружении животных в опасных зонах и предотвращении негативного воздействия. Использование тепловизионного мониторинга носило вспомогательный характер, и в комплексе с акустическим и визуальным мониторингом была обеспечена высокая вероятность регистрации особей, находившихся близ опасных зон, и позволила вести мониторинг в темное время суток, когда визуально невозможно осмотреть акваторию.

Заключение

Полученные результаты в рамках апробации метода полностью согласуются с имеющимися в литературе данными по обнаружению ММ с помощью тепловизионных систем (Graber et al., 2011, Baldacci et al., 2005, Zitterbart et al 2013, Boebel et al., 2013). Несмотря на некоторые ограничения, потенциал системы, используемой в том числе в условиях ограниченной видимости, приводит к значительному сокращению простоев вследствие метеоусловий или темного времени суток, и повышению эффективности обнаружения морских млекопитающих в акватории независимо от условий наблюдения.

Полученные результаты показывают высокую значимость комплексного подхода к мониторингу морских млекопитающих, и важность применения инструментальных методов в целом и тепловизионных систем в частности для обнаружения крупных морских млекопитающих в случаях ограниченной видимости, а также в случаях, когда методы пассивной акустики не применимы (животные не вокализируют или вокализирую редко). Дальнейшее использование данного метода при разведке и освоении шельфа даст возможность более полно оценить не только экономическую и природоохранную, но и научную составляющую данного метода.

Список литературы

Graber, J., Thomson, J., Polagye, B., & Jessup, A. (2011, September). Land-based infrared imagery for marine mammal detection. In *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability VIII* (Vol. 8156, p. 81560B). International Society for Optics and Photonics.

Baldacci, A., Carron, M. J., & Portunato, N. (2005). Infrared detection of marine mammals.

Zitterbart, D. P., Kindermann, L., Burkhardt, E., & Boebel, O. (2013). Automatic round-the-clock detection of whales for mitigation from underwater noise impacts. PloS one, 8(8), e71217

Boebel, O., & Zitterbart, D. P. (2013, June). 24/7 automatic detection of whales near seismic vessels using thermography. In 75th EAGE Conference & Exhibition-Workshops (pp. cp-349). European Association of Geoscientists & Engineers.

Ragen, T. J. (2005). Marine mammal research: conservation beyond crisis. JHU Press.

Patin S. A. Assessment of anthropogenic impact on marine ecosystems and biological resources in the process of oil and gas field development in the shelf area //Water Resources. – 2004. – Т. 31. – №. 4. – С. 413-422.

Erbe C. Effects of underwater noise on marine mammals //The effects of noise on aquatic life. – Springer, New York, NY, 2012. – С. 17-22.

Ketten D.R. Marine mammal auditory system noise impacts: evidence and incidence. Adv Exp Med Biol. 2012. V.730. P. 207-212.

Southall B.L., Bowles A.E., Ellison W.T., Finneran J.J., Gentry R.L., Greene C.R.J., Kastak D., Ketten D.R. , Miller J.H., Nachtigall P.E., Richardson W.J., Thomas J.A. and Tyack P.L., “Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations”, Aquatic Mammals 33(4), 411 -521 (2007)

ACCOBAMS S. C. Statement of concern about atypical mass strandings of beaked whales in the Ionian Sea //ACCOBAMS Scientific Committee. – 2012.

JNCC guidelines for minimising the risk of injury and disturbance to marine mammals from seismic surveys// Aug., 2010a

Joint Nature Conservation Committee (JNCC), Guidelines for minimising the risk of injury and disturbance to marine mammals from seismic surveys, Joint Nature Conservation Committee, Aberdeen, UK, 2010b

Joint Nature Conservation Committee (JNCC), Statutory nature conservation agency protocol for minimising the risk of injury to marine mammals from piling noise, Aberdeen, UK, 2010c

Nowacek D. P. et al. Studying cetacean behaviour: new technological approaches and conservation applications //Animal behaviour. – 2016. – Т. 120. – С. 235-244.

МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ КИСЛОЙ ГУБЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ НА БИОКОРРОЗИЮ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Брюханов Андрей Леонидович[1], Власов Дмитрий Юрьевич[2], Няникова Галина Геннадьевна[3], Лаптев Анатолий Борисович[4], Царовцева Инга Маратовна[5]

[1] ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

[2] ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»

[3] ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»

[4] ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» ГНЦ РФ, Москва

[5] АО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева», Санкт-Петербург

Введение

Экономический ущерб от коррозионных процессов в развитых странах исчисляется миллиардами долларов, а доля биоповреждений в этих процессах может составлять более 50%. Большой интерес в плане изучения биокоррозии представляют конструкционные материалы, так как от их физико-механических характеристик зависит надежность и долговечность возводимых зданий и сооружений. В гидротехническом строительстве используются как традиционные материалы (бетоны, металлы), так и новые (полимерно-композитные материалы). Немаловажным фактором являются окружающие условия, в которых возводятся и эксплуатируются объекты.

Коррозия – это сложная и многофакторная совокупность процессов, в которых сообщества микроорганизмов играют существенную роль [Beech, Sunner, 2004; Videla, Herrera, 2005; Procopio, 2019; Брюханов и др., 2020]. Качественный и количественный состав коррозионных микробных сообществ сильно зависит от состояния окружающей среды, наличия источников углерода и энергии и т.д. По этой причине необходимо выявлять связи между экологической обстановкой, состоянием исследуемых материалов, а также развитием биообрастаний и биоповреждений. Особенно эти процессы интересны для изучения в морских экосистемах, где скорость биокоррозии может быть крайне высока.

Целью данной работы было исследование филогенетического состава микробных сообществ в литоральной зоне Кислой губы Баренцева моря на севере Кольского полуострова для выявления микроорганизмов (в том числе и некультивируемых), потенциально способных к биокоррозии, а также отработка методик натурных испытаний различных конструкционных материалов в неблагоприятных условиях арктических морей.

Была изучена инициация коррозионных процессов под воздействием микроорганизмов для различных конструкционных материалов (сталь, бетон, полимерные материалы и др.), которые экспонировались длительное время в литоральной зоне в районе Кислой губы Баренцева моря. Исследован полный состав микробных сообществ в придонной воде и донных осадках литоральной зоны – показано наличие потенциально коррозионно-активных микроорганизмов различных физиологических групп, таких, как сульфатредуцирующие, серо-, водород-, железо- и марганец-окисляющие, аммонифицирующие и фототрофные бактерии.

Материалы и методы

В районе Кислогубской приливной электростанции (ПЭС) филиала АО «Ленинградская ГАЭС», расположенной на севере Кольского полуострова в Кислой губе Баренцева моря (Мурманская область), проводили натурные испытания – экспонировали образцы различных конструкционных материалов, а именно, кубы из бетонной смеси, кубы из дерева (сосна), стальную арматуру без нанесения и с нанесением органосиликатного защитного покрытия.

Для микробиологических и молекулярно-генетических исследований осуществляли отборы проб с поверхности экспонированных материалов, а также проб воды и донных осадков в литоральной зоне в районе Кислогубской ПЭС. Для выделения представителей различных групп потенциально коррозионно-активных микроорганизмов в накопительные и чистые культуры использовали соответствующие селективные питательные среды.

Секвенирование ПЦР-фрагментов гена 16S рРНК, амплифицированных с помощью праймеров 11f и 1492r [Lane, 1991], с целью идентификации выделенных чистых культур проводили по методу Сэнгера на геномном анализаторе ABI PRIZM 3730 (“Applied Biosystems”, США). Первичный анализ сходства нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК изучаемых штаммов проводили с помощью программного пакета BLASTN и RDP Classifier. Для анализа филогенетического состава микробных сообществ использовали высокопроизводительное секвенирование ампликонов гена 16S рРНК в системе MiSeq (“Illumina”, США) с использованием набора реагентов, обеспечивающего длину прочтения 300 нуклеотидов с каждого конца ампликона. Демультиплексирование, обработку и анализ последовательностей проводили при помощи соответствующих скриптов программы QIIME. Последовательности группировали в OTE с уровнем сходства 97%, используя референсную базу прочтений 16S рРНК Silva [Quast et al., 2013].

В лабораторных условиях для изучения процессов биокоррозии различных материалов пластины конструкционной стали Ст20 и стальной арматуры экспонировали в присутствии выделенных накопительных и чистых культур коррозионно-активных бактерий (сульфатредуцирующих, нитрифицирующих, сероокисляющих и железоокисляющих). Проявления биокоррозии оценивали с использованием цифрового микроскопа, а также посредством рентгенофазового анализа. Влияние условий экспонирования и развития биообрастаний на прочностные характеристики бетона оценивали путем проверки экспонировавшихся на климатических стендах бетонных блоков на прочность при сжатии.

Результаты

Проанализированные образцы после натурной экспозиции в районе Кислогубской ПЭС (Баренцево море) характеризовались разной степенью биообрастания. Наибольшему обрастанию подверглись образцы, которые экспонировались в литоральной зоне. На поверхности образцов материалов, снятых с атмосферного стенда, было зафиксировано развитие микробных биоплёнок. Характер и состав микробных биоплёнок, а также степень биообрастания во многом зависели от характера поверхности материала и его физико-химических свойств. Так, поверхность бетона после экспонирования опытных образцов на атмосферном стенде характеризовалась начальным развитием структур мицелиальных грибов рода *Cladosporium* и обладала признаками слабой поверхностной деструкции материала. Поверхность бетона после экспонирования опытных образцов на литоральном стенде в районе Кислогубской ПЭС отличалась более интенсивной колонизацией микроорганизмами (разрастание нитевидных структур цианобактерий и микроводорослей, образование первичных биоплёнок) в сравнении с образцами с атмосферного стенда.

В результате инкубирования аэробных культур микроорганизмов было отмечено, что рост тионовых и нитрифицирующих бактерий проявлялся во всех пробах, отобранных с арматуры, экспонированной в атмосферной зоне, и в большинстве проб с образцов, экспонированных в литоральной зоне. Аммонифицирующие бактерии были обнаружены на всех исследуемых образцах. При этом наиболее высокое содержание бактерий было отмечено в пробах, взятых с образцов арматуры без защитного покрытия, древесины без защитного покрытия, а также бетона. Присутствие микромицетов было наиболее заметно в пробах с образцов бетона, стальной арматуры и древесины без защитного покрытия, отобранных на атмосферном стенде. Анаэробные сульфатредуцирующие бактерии активно развивались на образцах арматуры.

Были получены накопительные культуры сероокисляющих (тионовых) бактерий родов *Thiosphaera* и *Thiobacillus*, нитрифицирующих бактерий родов *Nitrobacter, Nitrococcus* и *Nitrosomonas*, а также железоокисляющих бактерий рода *Bacillus*. BLAST-анализ фрагмента нуклеотидной последовательности длиной 1495 п.о. гена 16S рРНК выявил 98,8% сходства чистой культуры, выделенной из донного осадка в районе Кислой губы Баренцева моря у Кислогубской ПЭС, с грамотрицательной галофильной сульфатредуцирующей бактерией *Halodesulfovibrio aestuarii* NCIMB 9335.

В результате анализа последовательностей гена 16S рРНК был полностью определен сложный филогенетический состав сообществ микроорганизмов (вплоть до рода) в исследованных водных и донных пробах у Кислогубской ПЭС, а также впервые точно идентифицированы все потенциально коррозионно-активные группы микроорганизмов в прибрежной зоне Баренцева моря – такие, как сульфатредуцирующие, серо-, железо- и марганец-окисляющие, водородные, нитрифицирующие, аммонифицирующие и фототрофные микроорганизмы.

Необходимо отметить, что в пробах прибрежных донных осадков у Кислогубской ПЭС 13% от всех микроорганизмов составляли сульфатредуцирующие бактерии (СРБ), являющиеся одними из самых активных в коррозионном плане микроорганизмами (образуют биоплёнки, выделяют едкий сероводород и связывают ионы железа в сульфид, кроме того, сульфидные плёнки являются катализаторами наводороживания стали и ее охрупчивания) [Enning, Garrelfs, 2014]. Обнаруженные СРБ относились к порядку *Desulfobacterales* (класс *Deltaproteobacteria*), семействам *Desulfobulbaceae* (57% от всех *Desulfobacterales*) и *Desulfobacteraceae* (43% от всех *Desulfobacterales*). В семействе *Desulfobacteraceae* были выявлены представители родов *Desulfofrigus, Desulfoconvexum* и *Desulfosarcina*, среди которых известны уникальные гиперпсихрофильные виды [Knoblauch et al., 1999]. В семействе *Desulfobulbaceae* большая часть СРБ представляла собой неопределенные до родов и некультивируемые группы. В донных осадках были детектированы также пурпурные серные бактерии (порядок *Chromatiales* класса *Gammaproteobacteria*) в количестве 0,5% от всех бактерий в пробах, а именно – представители семейств *Granulosicoccaceae* (65% от всех *Chromatiales*) и *Ectothiorhodospiraceae* (24%). Были обнаружены и нитрифицирующие бактерии класса *Nitrospira* в количестве 0,4% от всех бактерий в пробах донных осадков. В водных пробах у Кислогубской ПЭС до 20% от всех микроорганизмов приходилось на бактерий рода *Pseudomonas*, характеризующихся весьма лабильным метаболизмом и способностью к образованию коррозионно-активных биоплёнок. Среди железоокисляющих бактерий в пробах воды и донных осадков были обнаружены представители рода *Acidithiobacillus* (порядок *Acidithiobacillales* класса *Gammaproteobacteria*), которые способны получать энергию за счёт окисления двухвалентного железа.

Заключение

В представленной работе было впервые показано наличие филогенетически разнородных сообществ коррозионно-активных микроорганизмов в нативных донных осадках и водной толще литоральной зоны Баренцева моря. По результатам секвенирования участков гена 16S рРНК было обнаружено большое количество некультивируемых и неидентифицируемых до уровня семейства групп микроорганизмов, что свидетельствует о больших перспективах выделения из арктических биотопов представителей новых таксонов морских бактерий и архей. Таким образом, пока ещё малоизученные акватории арктических морей и, в особенности, уникальные экосистемы Баренцева моря, являются крайне интересными объектами исследования сообществ микроорганизмов различных физиологических групп и их роли в глобальных биогеохимических циклах, в том числе и в процессах биокоррозии. Необходимо отметить, что лабораторные исследования показали, что наибольшую коррозионную активность по отношению к конструкционной стали проявляют баренцевоморские культуры тионовых (сероокисляющих) и сульфатредуцирующих бактерий.

Благодарности

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ – проекты № 18-29-05031 мк «Изучение воздействия гетеротрофных и автотрофных микроорганизмов и микробных ассоциаций на материалы гидротехнических сооружений (металлы, бетоны и полимерно-композитные материалы), а также процессов биологической коррозии в прибрежных зонах Баренцева и Балтийского морей» и № 18-29-05033 мк «Физическое и химическое воздействие организмов биодеструкторов на полиэфирные материалы в различных климатических зонах».

Список литературы

Брюханов А.Л., Власов Д.Ю., Майорова М. А., Царовцева И.М. Роль микроорганизмов в разрушении бетонных и железобетонных конструкций // Гидротехническое строительство. – 2020. – № 7. – С. 7–13.

Beech I.B., Sunner J. Biocorrosion: towards understanding interactions between biofilms and metals // Curr. Opin. Biotechnol. – 2004. – Vol. 15, No. 3. – P. 181–186.

Enning D, Garrelfs J. Corrosion of iron by sulfate-reducing bacteria: new views of an old problem // Appl. Environ. Microbiol. – 2014. – Vol. 80, No. 4. – P. 1226–1236.

Knoblauch C., Sahm K., Jørgensen B.B. Psychrophilic sulfate-reducing bacteria isolated from permanently cold Arctic marine sediments: description of *Desulfofrigus oceanense* gen. nov., sp. nov., *Desulfofrigus fragile* sp. nov., *Desulfofaba gelida* gen. nov., sp. nov., *Desulfotalea psychrophila* gen. nov., sp. nov. and *Desulfotalea arctica* sp. nov // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. – 1999. – Vol. 49, No. 4. – P. 1631-1643.

Lane D.J. 16S/23S sequencing // Nucleic acid techniques in bacterial systematics (ed. by E. Stackebrandt, M. Goodfellow). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. – 1991. P. 115–175.

Procópio L. The role of biofilms in the corrosion of steel in marine environments // World J. Microbiol. Biotechnol. – 2019. – Vol. 35, No. 5. – P. 73.

Quast C., Pruesse E., Yilmaz P., Gerken J., Schweer T., Yarza P., Peplies J., Glöckner F.O. The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools // Nucleic Acids Res. – 2013. – Vol. 41. – D590–D596.

Videla H.A., Herrera L.K. Microbiologically influenced corrosion: looking to the future // Int. Microbiol. – 2005. – Vol. 8, No. 3. – P. 169–180.

МИКРОБИОМ КИШЕЧНИКА РЫБ БЕЛОГО МОРЯ, ВЫЯВЛЕННЫЙ МЕТОДОМ МЕТАБАРКОДИНГА ПО 16S рРНК

Бурцева Ольга Игоревна, Кублановская Анна Андреевна, Федоренко Татьяна Александровна, Лобакова Елена Сергеевна, Чеканов Константин Александрович
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Биологический факультет

В последнее время значительно расширились возможности исследования микробных сообществ, ассоциированных с различными организмами. С использованием методов секвенирования нового поколения появилась возможность гораздо более полного выявления как разнообразия микроорганизмов (за счёт некультивируемых видов), так и соотношения количества их отдельных групп. В связи с этим, на сегодня получено большое количество данных о микробиомах кишечника различных животных, в том числе рыб. Эти знания существенно обогатили понимание взаимовлияния микробного сообщества и организма хозяина. Выявлены многие направления воздействий микробиома на макроорганизм, например - помощь в переваривании компонентов пищи и абсорбции питательных веществ в кишечнике (Wu et al., 2012). Мутуалистические бактерии модулируют работу органов и систем, синтезируют жирные кислоты, гормоны и витамины; защищают организм от инфекций. Микроорганизмы кишечника влияют на ангиогенез и восстановление эпителия (Egerton et al., 2018), принимают участие в защите слизистой оболочки кишечника от патогенов и вызывают неспецифические иммунные реакции. Всё это важно для нормального развития и выживания животного-хозяина. Хотя большинство данных о микробиоте пищеварительной системы было получено для млекопитающих, данные для других животных, например рыб, также представляют большой интерес. В частности, манипуляции с микробиомом кишечника рыб рассматриваются как перспективный инструмент для повышения продуктивности и устойчивости к патогенам рыб в аквакультуре (Egerton et al., 2018).

В настоящее время имеются данные о микробиоме желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) различных видов рыб, особенно культивируемых в разных регионах мира. Но для Белого моря данные о микробиоме ЖКТ рыб отсутствуют. Ранее, из различных отделов кишечника 5 видов рыб, обитающих в Белом море, выделены, идентифицированы и охарактеризованы люминесцентные бактерии (Burtseva et al., 2020). Большинство из выделенных штаммов люминесцентных бактерий являются представителями Vibrionaceae (pp. Photobacterium, Aliivibrio и Vibrio). Кроме того, выделены штаммы Shewanella baltica (Shewanellaceae) и Kosakonia cowanii (Enterobacteriaceae) (Burtseva et al., 2020). Для подтверждения присутствия способных к люминесценции бактерий в ЖКТ исследованных рыб и оценки состава и численности различных групп бактерий микробиома кишечника рыб проведен метабаркодинг на основе фрагмента V4 гена 16S рРНК бактерий участка заднего отдела кишечника.

Получены данные по следующим пелагическим и придонным рыбам, выловленным в июле-августе 2018-2019 гг.: керчак (Myoxocephalus scorpius L.), пинагор (Cyclopterus lumpus L.), беломорская арктическая камбала (Liopsetta glacialis glacialis Pallas), беломорская треска, (Gadus morhua marisalbi L.) и беломорская сельдь (Clupea pallasii marisalbi Berg). Во всех образцах Протеобактерии были самыми многочисленными. Шесть филлумов, Tenericutes, Proteobacteria, Fusobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes и Actinobacteria были широко представлены у G. morhua marisalbi. Большое количество представителей Actinobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes и Proteobacteria было обнаружено в Cl. pallasii marisalbi и C. lumpus. В данных по M. scorpius самыми многочисленными были два филлума: Proteobacteria и Tenericutes, а данные по микробиоте L. glacialis демонстрирую, что доминирующим являлся только один филлум - Proteobacteria.

На уровне семейств самыми многочисленными во всех пробах были представители Moraxellaceae и Vibrionaceae (Рисунок 1.) А на уровне родов везде, кроме пробы из L. glacialis, было обнаружено большое количество считываний Acinetobacter, Enhydrobacter и Photobacterium. Во всех пробах присутствует большое количество видов рода Vibrio, и во всех наборах данных, за исключением G. morhua marisalbi, значимо представлен род Aliivibrio. Более того, в наборе данных L. glacialis доля считываний Aliivibrio была очень высокой. В том же образце была очень высокая доля Moraxellaceae, а именно представителей рода Psychrobacter.

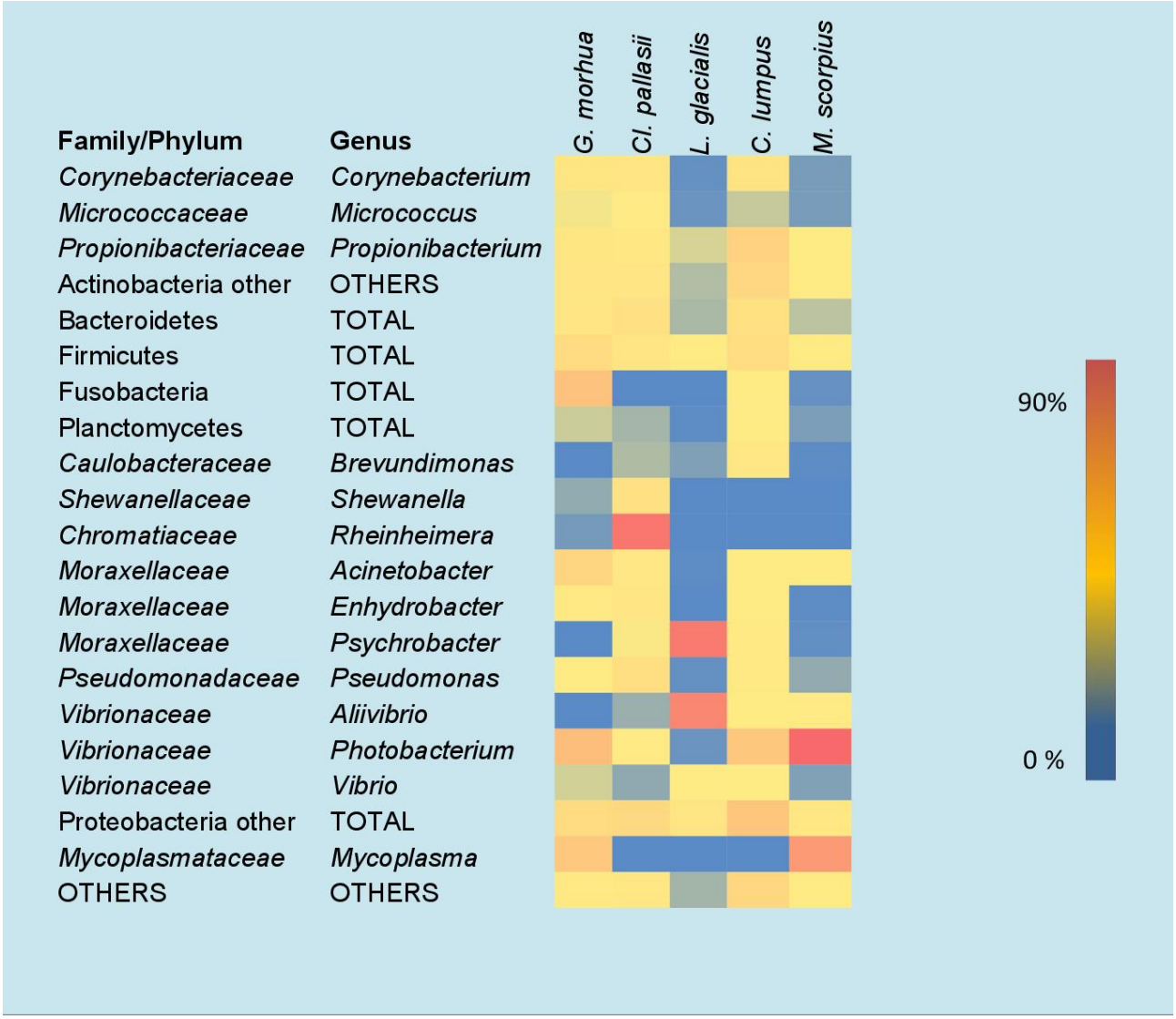


Рисунок 1.

На уровне филлума все бактериальные сообщества кишечника изученных рыб демонстрировали высокое сходство; но по мере уменьшения ранга таксона разница становилась более выраженной. Всего 12 родов бактерий были общими для всех образцов: Streptococcus, Sphingomonas, Micrococcus, Chthoniobacter, Pseudomonas, Corynebacterium, Staphylococcus, Acinetobacter, Propionibacterium, Vibrio, Photobacterium и Bacillus. Значительную долю этих родов составляли бактерии потенциально способные к биолюминесценции.

В совокупности данные по микробиому желудочно-кишечного тракта рыб Белого моря на уровне филлума соответствовали предыдущим исследованиям микробиоты рыб. Так, в кишечнике морских рыб в изобилии встречаются представители филлумов Proteobacteria, Actinobacteria, Firmicutes, Tenericutes и Fusobacteria (Egerton et al., 2018). Показано, что

микробиом ЖКТ рыб более зависит от окружающей среды чем у наземных животных (Wu et al., 2012). Фактически, микробиом ЖКТ рыб в большой степени отражает микробные сообщества окружающей среды (Olafsen, 2001). Первичная колонизация кишечника начинается после выхода личинок из икры и начала их питания. Во время роста рыб вода, содержащая бактерии, проходит через желудочно-кишечный тракт, и происходит колонизация кишечника водными бактериями (Olafsen, 2001).

Наше исследование выявило общие черты микробиома кишечника рыб и бактериального состава воды в Кандалакшском заливе Белого моря (Gorrasia et al., 2019). В частности, представители филлумов Proteobacteria и Bacteroidetes многочисленны на глубине 15 м и более. Это соответствует нашим данным о высокой численности представителей данных филлумов в микробиомах ЖКТ исследованных рыб. Proteobacteria преобладали во всех изученных образцах ЖКТ. Также, в пробах воды Белого моря в большом количестве выявляются представители Psychrobacter, Halomonas, Pseudoalteromonas и Vibrio (Gorrasia et al., 2019). Их доля в микробиомах ЖКТ изученных образцов также была значительной, в отличие от рыб из других морей (например, в случае G. morhua) (Le Doujet et al., 2019).

Тем не менее, не все бактерии, попадающие в ЖКТ рыб из окружающей среды, колонизируют её кишечник, происходит отбор определенных микроорганизмов (Tarnecki et al., 2017). Было показано, что структура микробиома одних и тех же видов рыб из разных мест обитания более близка друг к другу, чем сообществам окружающей воды (Schmidt et al., 2015).

Фактически трофический уровень является одним из наиболее значимых факторов, влияющих на состав микробиоты кишечника, что и было продемонстрировано нашим исследованием. В совокупности, с одной стороны, исследование является подтверждением известных данных о микробиоме кишечника морских рыб, с другой стороны, оно раскрывает некоторые специфические закономерности микробиоты кишечника рыб Белого моря.

Список литературы

Wu S, Wang G, Angert ER, Wang W, Li W, Zou H. 2012.Composition, diversity, and origin of the bacterial community in grass carp intestine. PLoS One, 7(2): e30440.

Egerton, S., Culloty, S., Whooley, J., Stanton, C., Ross, R. P. 2018. The gut microbiota of marine fish. Frontiers in Microbiology, 9: 873.

Burtseva, O., Kublanovskaya, A., Baulina, O, Fedorenko, T, Lobakova, E., Chekanov, K. 2020. The strains of bioluminescent bacteria isolated from the White Sea finfishes: genera Photobacterium, Aliivibrio, Vibrio, Shewanella, and first luminous Kosakonia. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 208: 896-907.

Olafsen, J. A. 2001. Interactions between fish larvae and bacteria in marine aquaculture. Aquaculture, 200(1-2): 223-247.

Gorrasia, S., Pesciarolia, C., Barghinia, P., Pasqualettia, M., Fenicea, M. 2019. Structure and diversity of the bacterial community of an Arctic estuarine system (Kandalaksha Bay) subject to intense tidal currents. Journal of Marine Systems, 196: 77-85.

Le Doujet, T., De Santi, C., Klemetsen, T., Hjerde, E., Willassen, N. P., Haugen, P. 2019. Closely-related Photobacterium strains comprise the majority of bacteria in the gut of migrating Atlantic cod (Gadus morhua). Microbiome, 7(1): 64.

Tarnecki, A.M., Burgos, F.A., Ray, C.L., Arias, C.R. 2017. Fish intestinal microbiome: diversity and symbiosis unravelled by metagenomics. Journal of Applied Microbiology, 123(1): 2-17.

Schmidt, V. T., Smith, K. F., Melvin, D. W., Amaral-Zettler, L. A. 2015. Community assembly of a euryhaline fish microbiome during salinity acclimation. Molecular Ecology, 24(10): 2537-2550.

МИКРОБНОЕ СООБЩЕСТВО ЦИКЛА МЕТАНА ВОДНОЙ ТОЛЩИ МЕРОМИКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА БОЛЬШИЕ ХРУСЛОМЕНЫ

Саввичев Александр Сергеевич, Кадников Виталий Валерьевич, Русанов Игорь Иванович

Федеральный исследовательский центр "Фундаментальные основы биотехнологии" Российской академии наук, г. Москва

Меромиктические (постоянно стратифицированные) водоемы являются природными объектами, в которых масштабная геохимическая деятельность микроорганизмов выражена особенно ярко. В меромиктических водоемах наиболее активные микробные процессы протекают в зоне контакта кислородсодержащих и аноксигенных (euxinic, т.е. бескислородных и содержащих сероводород) вод. В известных публикациях эта зона контакта называется хемоклином, пикноклином, транзитной зоной или oxic–anoxic interface. Микроорганизмы осуществляют окисление восстановленных соединений, таких как сульфид, железо и марганец, а также метан в первую очередь, используют именно кислород. Кислородное дыхание гетеротрофных и хемолитотрофных микроорганизмов может происходить при очень низком уровне кислорода, с содержанием ниже предела обнаружения обычных датчиков кислорода 120 нМ. До недавнего времени эти процессы, происходящие при микромолярных концентрациях кислорода, не были изучены.

Известно, что окисление метана в водных системах протекает исключительно при участии бактерий (аэробно) и архей (анаэробно). При отсутствии кислорода, но наличии сульфата, потребление метана осуществляется преимущественно за счет сульфат-зависимого анаэробного окисления метана (AOM) − процесса, ответственного за утилизацию в анаэробных зонах морских водоемов более чем 90% метана. Показано, что бактериальное окисление метана в водной толще меромиктических озер протекает не только в аэробных условиях, но и на границе бескислородного слоя, а также в анаэробных зонах, которые не содержат кислорода в реально измеряемых количестве. Экспериментально показано, что окисление метана может стимулироваться в бескислородных озерных водах светом. Это позволяет предполагать, что кислород, потребляемый метанотрофами при окислении метана, образуется при оксигенном фотосинтезе. Считается, что минимальная потребность оксигенных фототрофов в свете составляет $2 \mu Em^{-2} s^{-1}$, однако фактическая потребность может быть намного ниже. Показано, что аноксигенные фототрофы *Chlorobiaceae* способны к аноксигенному фотосинтезу при освещенности ниже $0.01 \mu Em^{-2} s^{-1}$.

Объектом исследования процессов окисления метана было полярное меромиктическое озеро Большие Хрусломены расположенное на побережье Кандалакшского залива Белого моря (Краснова и др., 2018). Отбор образцов воды проводили в марте и сентябре 2017 г. Озеро, глубиной около 18 м характеризовалось четко выраженной стратификацией, наличием хемо- и галоклина на глубине 2-4 м . Температура озера в сентябре изменялась от 7.3 до 13.5° С, причем температурный максимум располагался в хемоклине на глубине 3.5-3.75 м. Содержание кислорода в этом интервале глубин падало от 0.7 ммоль на глубине 2 м до 2.5 мкмоль на 4 м. Сероводород появлялся на глубине 4 м, и в придонных горизонтах его концентрация составляла 17.8 ммоль. Озеро имеет контакт с основным морским бассейном, вследствие чего ниже хемоклина происходило значительное нарастание солености (до 22 ‰) в придонных горизонтах. Наряду с высоким содержанием H_2S в толще гиполимниона

наблюдались также и экстремально высокие концентрации метана (до 1.8 ммоль на глубине 18 м). В интервале глубин 3.75-5.5 м происходило резкое снижение содержания метана до величин 0.04-1.13 мкмоль в аэробной зоне (0-3.5 м). Скорости темновой и световой ассимиляции углекислоты, необходимые для получения профиля фотосинтеза, а также эксперименты по определению влияния света на интенсивность окисления метана проводили радиоизотопным методом

В аэробной зоне активность фотосинтеза в слое эпилимниона наблюдалась от поверхности и до 4.0 м включительно. Интенсивность оксигенного фотосинтеза составляла 2.5−4.7 мкмоль С $л^{-1}$ $сут^{-1}$. На нижней границе аэробной зоны интенсивность фотосинтеза незначительно снижалась. Под слоем эпилимниона (4.0 м), на границе аэробной и анаэробной зон обнаружен узкий слой с высокой активностью аноксигенного фотосинтеза (АнФС). Максимальная интенсивность АнФС, приходилась на горизонт 4.25 м (35 мкмоль С $л^{-1}$ $сут^{-1}$). При дальнейшем погружении в слой гиполимниона интенсивность фотосинтеза резко падала, вероятно, из-за недостатка света. Уже на глубине 5 м интенсивность фотосинтеза снижалась до 0.8 мкмоль С $л^{-1}$ $сут^{-1}$.

Профиль распределения скоростей окисления метана свидетельствовал о протекании интенсивных процессов в узком интервале глубин 3.75-4.0 м (на свету до 0.17 мкмоль $л^{-1}$ $сут^{-1}$), причем нам удалось обнаружить заметную стимуляцию светом этого процесса (Рисунок). Зона, где наблюдалось выраженное светозависимое окисление метана, соответствовала нижней границе проникновения кислорода.

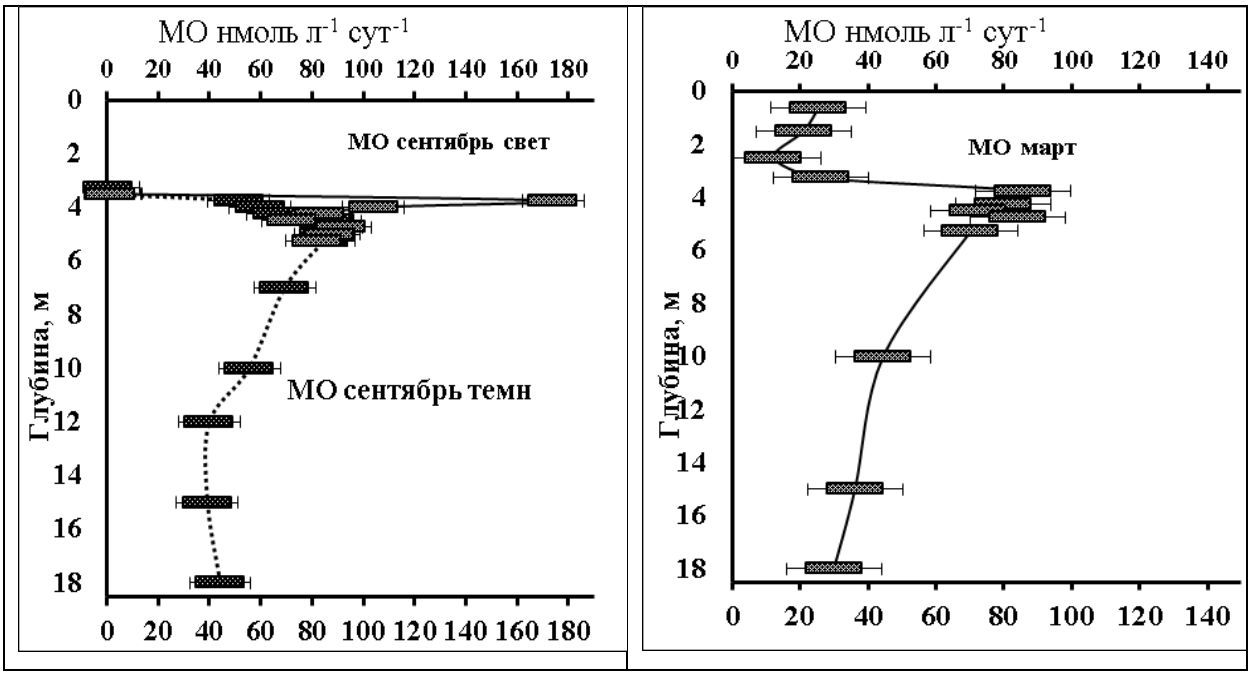


Рисунок. Интенсивность окисления метана в водной толще оз. Большие Хрусломены. А - сентябрь, светлая и темная экспозиция, В - март, темная экспозиция

Высокопроизводительное секвенирование вариабельных участков V3-V4 гена 16S рРНК выявило присутствие в интервале глубин 3.25-4.0 м значимого количества последовательностей (до 2.5 % от общего количества определенных последовательностей генов 16S рРНК) филогенетически сходных с метанотрофными гаммапротеобактериями *Methyloprofundus sedimenti* семейства *Methylococcaceae* (100% идентичности

последовательностей генов 16S рРНК). Эти морские метанокисляющие бактерии, выделенные из поверхностных осадочных отложений каньона Монтерей у побережья Калифорнии, имеют высокое сходство гена 16S рРНК (98%) с некультивируемыми свободно живущими и эндосимбионтными метанотрофами водной толщи, донных осадков и жаберных тканей глубоководных моллюсков, а также с метанотрофами рода *Methylobacter* (94.6 %). Цианобактерии порядка *Synechococcales* составляли значительную долю сообщества прокариот в аэробной приповерхностной зоне (до 10 %). Глубже 3 м их относительный вклад снижался, но в зоне максимальной скорости светозависимого окисления метана количество выявленных последовательностей гена 16S рРНК цианобактерий и метанотрофов было почти одинаковым и составляло около 2.5% микроорганизмов. Результаты радиоизотопных экспериментов в сочетании с молекулярным анализом позволяет рассматривать солоноватоводное полярное меромиктическое оз. Б. Хрусломины в качестве еще одного примера существования в зоне хемоклина светозависимого окисления метана, осуществляемого метанотрофными гамапротеобактериями в ассоциации с цинанобактериями. Следует отметить, что до сих пор светозависимое окисление метана наблюдали исключительно в пресных меромиктических озерах различных климатических зон, где в гипоксидных условиях доминировали метанотрофные гаммапротеобактерии. В полупроницаемом для морских вод озере Б. Хрусломины в зоне хемоклина соленость была примерно в три раза ниже морской воды. Видимо, поэтому в отличие от пресного меромиктического озера Светлое (соленость в хемоклине около 0.34‰), где преобладали метанотрофы рода *Methylobacter*, в хемоклине оз. Б. Хрусломины максимальные скорости окисления метана соответствовали горизонтам с доминированием среди метанотрофов типичных морских метанокисляющих бактерий рода *Methyloprofundus,* как и *Methylobacter* входящих в семейство *Methylococcaceae*.

Проникновение морских вод, обогащенных сульфат-ионом, в оз. Б. Хрусломины, последствием которого являются наблюдаемые экстремально высокие концентрации сероводорода, предполагало возможность существования в анаэробном монимолимнионе процесса сульфат-зависимого окисления метана. Однако нам не удалось выявить 16S рРНК последовательности, характерные для ANME архей. В хемоклине и монимолимнионе отсутствовали также NC10 бактерии, окисляющие метан нитритом. АОМ в монимолимнионе может быть результатом “следового окисления метана” метаногенными археями, которые в анаэробной водной толще составляли до 8% от общей численности прокариот.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что светозависимое окисление метана не ограничивается только пресными стратифицированными озерами, но может вносить существенный вклад в процессы окисления этого важнейшего парникового газа в солоноватоводных континентальных и мелководных стратифицированных морских водоемах.

Авторы признательны директору ББС МГУ им. Н.А. Перцова А.Б. Цетлину за практическую помощь в проведении полевых исследований, коллегам из разных учреждений, являющихся авторами экспериментальной статьи (Savvichev et al., 2020), а также принявших участие в летних и зимних исследованиях оз. Б. Хрусломены. Экспедиционные исследования на оз. Б. Хрусломены проводились с использованием средств РФФИ 19-05-00377. Изотопные исследования выполнены с использованием финансовых средств РФФИ 20-04-00487. Исследования процессов цикла метана и состава микробного сообщества выполнены с использованием финансовых средств РНФ 16-14-10201, а также при поддержке Министерства

науки и высшего образования РФ.

Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л., Шапоренко С.И. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Труды Беломорской биостанции МГУ. 2016. Т. 12. С. 211–241.

Savvichev AS, Kadnikov VV, Rusanov II, Beletsky AV, Krasnova ED, Voronov DA, Kallistova AY, Veslopolova EF, Zakharova EE, Kokryatskaya NM, Losyuk GN, Demidenko NA, Belyaev NA, Sigalevich PA, Mardanov AV, Ravin NV and Pimenov NV (2020) Microbial Processes and Microbial Communities in the Water Column of the Polar Meromictic Lake Bol'shie Khruslomeny at the White Sea Coast. Front. Microbiol. 11:1945. doi: 10.3389/fmicb.2020.01945

ФЕРМЕНТАТИВНЫЕ СВОЙСТВА МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ, ДО И ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Гладкова Ксения Олеговна[1], Ким Александра Вячеславовна[1,2], Богатыренко Елена Александровна[1]

[1]Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток;

[2]ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, г. Владивосток.

Бактерии занимают главенствующую позицию по утилизации органического субстрата в водной среде (Семёнов и др., 2014). По литературным данным известно, что проявление тех или иных литических свойств у микроорганизмов может служить показателем степени антропогенной нагрузки на окружающую среду (Бузолёва и др., 2016). С этой точки зрения, способность бактерий разлагать сложные биополимеры представляет большой интерес для изучения и использования в качестве индикаторов экологического загрязнения, а также применения активных штаммов в пищевой и фармакологической промышленности. В связи с этим микроорганизмы, проявляющие гидролитические, имеют особую ценность и должны быть сохранены в лабораторных условиях без потери своих уникальных свойств настолько, насколько это представляется возможным. Именно поэтому целью данной работы являлось определить способность выделенных из морской среды чистых культур микроорганизмов сохранять свои физиолого-биохимические свойства после длительного хранения в лабораторных условиях.

Материал и методы.

В работу взято 104 биотехнологически ценных штамма бактерий из коллекции лаборатории морской микробиологии ШЕН ДВФУ, выделенных из прибрежных вод Японского моря, донных осадков, кишечника дальневосточного трепанга, морского ежа и мидии Грея.

Для изучения способности бактерий разлагать казеин, Твин 20 и крахмал, были использованы классические методы (Лабинская, 1978, Герхардт и др, 1983, Нетрусов, 2005). Способность разлагать такие специфические субстраты, как хитин, клетчатку, фукоидан, и альгинат натрия, определяли путем высева суточных культур на среды, содержащие в качестве единственного источника углерода соответствующий полисахарид в концентрации 1%. Инкубировали в течение 10 суток при комнатной температуре. Учитывали рост бактерий на среде с субстратом и отсутствие роста на голодном агаре.

Для хранения в глицерине при -80^{o}C использовали метод Пименовой (Пименова, 1995), затем размораживали и проводили 4 последовательных пересева. Определяли ферментативные свойства при первом и четвертом пересевах. Срок хранения культур - 2 года.

Результаты и обсуждение

Проявившими способность к росту на питательных средах при высеве сразу после хранения оказались всего 60 штаммов бактерий, что составляет 57,7% от всех взятых в работу (Oliver, 2005). 34 штамма бактерий образовали колонии на 7 день после пересева из замороженного состояния, 26 штаммов – через 12-14 суток, при этом на плотной

питательной среде было обнаружено всего по 1-3 колонии. Медленная скорость роста может быть обусловлена торможением метаболических процессов после длительного нахождения клеток бактерий в условиях ниже Аррениусовского диапазона температур, в котором химические реакции протекают с нормальной скоростью (Berry, Foegeding, 1997), что не могло не повлиять на активность клеточных ферментов.

Наиболее стабильным свойством оказалась коллагеназная активность. Её сохранило наибольшее количество музейных культур из разлагавших коллаген до хранения. Также большой устойчивостью к длительному воздействию пониженных температур оказалась способность бактерий к деструкции казеина. Ферментативная активность по отношению к фукоидану и клетчатке оказалась менее стабильной, затем по степени устойчивости в порядке убывания: липолитическая, амилолитическая, хитиназная и альгинатлиазная активности. Это может быть связано с тем, что большинство протеолитических ферментов микроорганизмов являются конститутивными (Овчинников, 2004), и поэтому бактерии способны к деструкции белков вне зависимости от факторов окружающей среды. Хитиназы, фукоиданазы, липазы, амилазы целлюлазы и альгинатлиазы в большинстве своём являются индуцибельными (Петрова, и др., 2002; Осадчая и др., 2009; Авраменко, Галыкин 2010; Сметанкина и др., 2011; Гайдук и др., 2017) ферментами, а значит, сильно зависящими от содержания субстрата в среде и внешних стрессовых воздействий, поэтому показали меньшую устойчивость к длительному воздействию холода.

Помимо «утраты» ферментативной активности у бактерий также наблюдался обратный эффект, то есть некоторые штаммы после консервации начали проявлять способность к деструкции органических субстратов при её первоначальном отсутствии. Реже всего «приобретение» ферментативной активности после заморозки и пересевов наблюдалось в отношении альгинатлиазной, хитиназной и фукоиданазной активностей. Альгинат натрия, хитин и фукоидан – специфичные субстраты, поэтому способностью к их деструкции обладают только те микроорганизмы, которые постоянно обитают в местах скопления этих органических полимеров. Другими словами, ферментативная активность в их отношении присуща не всем микроорганизмам морской среды, и доля потенциально активных бактерий невелика. Также достаточно редко активность появлялась у крахмал неразлагающих бактерий, далее в порядке увеличения доли проявляющих ферментативные свойства впервые: казеинолитическая, целлюлазная, липолитическая, коллагеназная активности. Возможно, полученные результаты связаны с тем, что микроорганизмы, выделенные из мест с высоким содержанием данных субстратов, потенциально могут иметь функциональные гены для деструкции соответствующих полимеров, и поэтому активизировали их под длительным воздействием на них стрессовых факторов.

Заключение. Таким образом, при хранении в замороженном состоянии на протяжении 2- х лет способность бактерий к росту на питательных средах снижается почти в 2 раза. При этом микроорганизмы лучше всего сохраняют протеолитическую активность. Способность к разложению альгината оказалась наименее устойчивым свойством в условиях долгосрочного хранения музейных культур при низких температурах.

Список литературы:

Авраменко С. В., Галынкин В. А. Особенности биосинтеза хитинолитических ферментов культурой *Streptomyces griseus* var. Streptomycini // Прикладная биохимия и микробиология. – 2010. – Т. 46. – № 4. – С. 443–447.

Бузолева Л. С., *Богатыренко Е. А, Еськова А. И., Ким А. В., Долматова Е. С., Голозубова Ю. С.* Таксономический состав и эколого-трофическая структура бактериальных сообществ прибрежных акваторий Японского моря с разной антропогенной нагрузкой // Гидробиологический журнал. – 2016. – Т. 52. – № 4. – С. 72–81.

Гайдук Э. А., Галимзянова Н. Ф., Гильванова Е. А., Актуганов Г. Э. Особенности продукции внеклеточных хитиназ и β-маннаназ алкалофильным штаммо *Bacillus mannanilyticus* IB-OR17 // Доклады Башкирского университета. – 2017. – Т. 2. – № 3. – С. 386.
Лабинская А. С. Микробиология с техникой микробиологических исследований. — М.:Медицина, 1978. — 394 с.

Методы общей бактериологии / Под ред. Ф. Герхардта и др. – М.: Мир, 1983. – 536 с.

Овчинников Р. С. И др. Протеолитические ферменты дерматофитов, гидролизующие структурные белки // Успехи медицинской микологии. – 2004. – Т. 3. – № 3. – С. 35–36.

Осадчая А. И., Сафронова Л. А., Авдеева Л. В., Иляш В. М. Скрининг штаммов бактерий с высокой целлюлазной активностью // Мікробіологічний журнал. – 2009. – Т. 71. – № 5. – С. 41–48.

Пименова М. Н., Гречушкина, Н. Н., Азова Л. Г., Нетрусов А. И. Руководство к практическим занятиям по микробиологии [Электронный ресурс] / // 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Изд-во МГУ, 1995. – 224 с. Режим доступа: http://bio-cat.ru/ebook.php?file=egorov.djvu&page=1

Практикум по микробиологии / Под ред. А. И. Нетрусова. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 608 с.

Семёнов А. М., Федоренко В. Н., Семенова Е. В. Микроорганизмы на поверхности морских макрофитов в северных морях России и их возможное практическое использование // Биосфера. – 2014. – № 1. – С. 60–76.

Сметанкина О. Н. Коробко Н. В., Михалко А. Н. Подбор питательной среды для культивирования продуцентов амилолитических ферментов // Биотехнология. Теория и практика. – 2011. – № 1. – С. 77–81.

Berry E. D., Foegeding P.M. Cold Temperature Adaptation and Growth of Microorganisms // J Food Prot. – 1997. – Vol. 60. – № 12. – P. 1583–1594.

Oliver, J. D. The viable but nonculturable state in bacteria // J. Microbiol. – 2005. – Vol. 43. – № S. – P. 93–100.

РАЗЛОЖЕНИЕ КЛАДОФОРЫ: НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В СОЛЕНОМ ОЗЕРЕ – ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

М. М. Басова Марина Михайловна, А.В. Празукин, Ю. К. Фирсов
ФИЦ ИнБЮМ, г. Севастополь

Введение. Среди рода *Cladophorae* встречается много морских, пресноводных и солоноватоводных видов, доля которых в биоценозах планеты очень высока (Olapade et al., 2006; Чемерис, Бобров, 2013). В значительной степени эвригалинность представителей рассматриваемого рода в высокой степени обуславливает его широкую экологическую пластичность. Известно, что при эвтрофировании отмечается массовое развитие нитчатых водорослей. Таким образом, особенности деструкции видов рода *Cladophorae* в водоемах разной солености представляют значительный интерес. Особо следует заметить, что данные о деструкции водорослей-эукариот весьма фрагментарны и, в основном, посвящены прокариотическим синезеленым водорослям, для кладофоры же практически отсутствуют (Добрынин, 1979; Бонч-Осмаловская и др., 1987; Черняковская, 2010; Солоненко, 2012).

Цель работы: Изучить особенности разложения кладофоры в условиях гиперсоленого озера.

Материалы и методы. В Херсонесском гиперсоленом озере (г. Севастополь) в июле 2019 г. были установлены мешки из газа с помещенными в них навесками высушенной кладофоры. С 17.07.2019 г. по настоящее время проходит долговременный эксперимент in situ - происходит отбор проб с разновременным шагом и регистрируется динамика убыли биомассы кладофоры. В статье представлены данные за первые 10 суток экспозиции.

Результаты и выводы. Предварительные данные по биомассе кладофоры при разложении на 3, 5, 7 и 10 сутки представлены на рис.1.

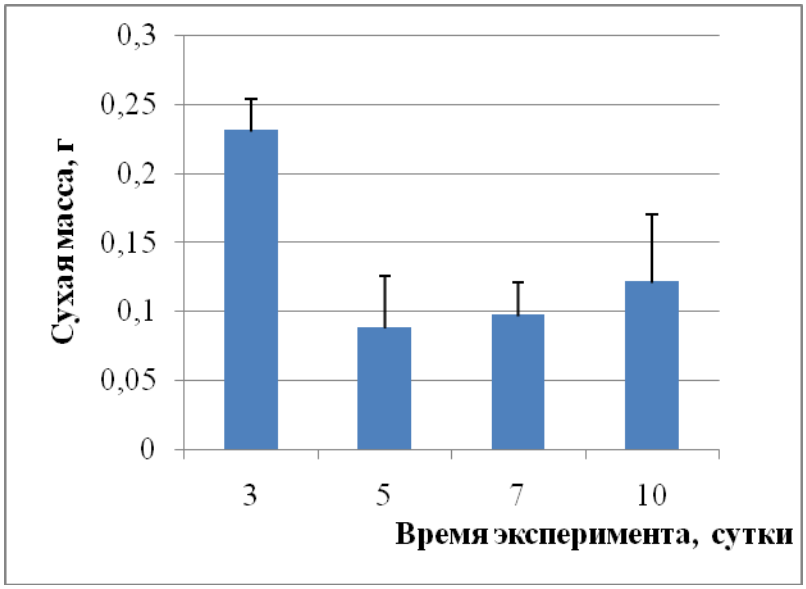


Рис. 1. – Убыль биомассы кладофоры при разложении на разные сутки экспозиции

1. Заметная убыль органического вещества кладофоры отмечена на третьи сутки и составила 0,231 г.
2. На пятые, седьмые и десятые сутки экспозиции изначальная биомасса кладофоры уменьшилась примерно на одинаковую величину 0,089 ±0,0369, 0,097± 0,0229 и 0,121±0,0484 г, соответственно, что позволяет судить о сходных скоростях

деструкции в течение этого временного отрезка.

Известно, что талломы кладофоры формируются в маты разного размера, плотности и толщины (Prazukin et al., 2018). Нами проанализировано, что особо прочная целлюлозная оболочка кладофор позволяет матам структурироваться в пространстве и существовать достаточно продолжительное время. В этой связи, особо важно рассмотреть процесс разложения кладофорных матов в естественной среде. Долговременный натурный эксперимент по изучению деструкции водорослей вообще и кладофоры, в частности, проводится впервые. Эксперимент и сбор данных продолжается. Особый интерес и важность исследования обусловлены тем, что разложение кладофоры происходит в гиперсоленом озере. Гиперсоленые озера являются примером экстремальных местообитаний. Изучение разложения кладофоры, вида с высокой экологической пластичностью, в условиях такого биотопа позволит приблизиться к пониманию закономерностей деструкционного процесса и круговорота веществ в соленых озерах.

Исследование выполнено в рамках госзаданий ФИЦ ИнБЮМ № АААА-А19-119100790153-3, № АААА-А18-118021490093-4

Список литературы.

1. Бонч-Осмоловская Е.А., Горленко В. М., Карпов Г. А., Старынин Д.А. Анаэробная деструкция органического вещества микробных матов источника Термофильного (кальдера Узон, Камчатка) // Микробиология. 1987. 56, № 36 С. 1022—1028.

2. Добрынин Э. Г. Характеристика круговорота органического вещества в гипергалинных водоемах Крыма // Микробиологические и химические процессы деструкции органического вещества в водоемах. Л.: Наука, 1979 С. 60—74.

3. Солоненко А. Н. Некоторые особенности деструкции органического вещества CLADOPHORA SIVASCHENSIS C. MEYER (CHLOROPHYTA) в рапе // Альгология. 2012 Т. 22 № 2. С. 131-138.

4. Чемерис Е.В., Бобров А.А., 2013. AEGAGROPILA LINNAEI (CLADOPHORACEAE, HLOROPHYTA) в реках на севере европейской части России// Ботанический журнал. 2013 №10 С. 2001-2011.

5. Черняковская Т.Ф. Модельная деструкция цианобактерий и тканей высших растений гидролитических комплексом микроорганизмов // Ярослав. пед. вестн. 2010 № 2 С. 106—109.

6. Olapade O.A., et al. Microbial Communities and Fecal Indicator Bacteria Associated with *Cladophora* Mats on Beach Sites along Lake Michigan Shores// Applied and Environmental Microbiology. 2006. 72. P. 932-1938 https://doi.org/10.1128/aem.72.3.1932-1938.2006.

7. Prazukin A.V., Anufriieva E.V., Shadrin N.V. 2018 Cladophora mats in a Crimean hypersaline lake: structure, dynamics, and inhabiting animals // Journal of Oceanology and Limnology.V.36 №.6P.1930-1940. DOI: 10.1007/s00343-018-7313-4

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ СТУДЕНИСТОГО МАКРОЗООПЛАНКТОНА НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Луппова Нора Евгеньевна,
ЮО ИО РАН, Геленджик

Введение

Студенистый макропланктон в Черном море представлен медузой *Aurelia aurita* и гребневиками-вселенцами *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata*. *A. aurita* – автохтонный черноморский вид, оба гребневика вселились в Черное море в конце прошлого столетия. Все три вида являются хищниками высшего порядка. *A. aurita* и *M. leidyi* питаются зоопланктоном, а *B. ovata* является хищником, потребляющим только лобатных гребневиков. Эти виды играют ключевую роль в формировании структуры сообщества и функционировании трофической сети черноморской пелагиали. Если ранее пищевым конкурентом медузы являлась лишь рыба, и в море можно было нередко наблюдать огромные скопления медуз, то с последовательным вселением гребневиков роль медузы в потреблении кормового зоопланктона значительно снизилась. В первые годы после массового распространения мнемиопсиса в Черном море, когда воздействие его на всю биоту было поистине драматичным (Виноградов и др., 2000) численность *A. aurita* также заметно упала вследствие обеднения кормовой базы. В дальнейшем, через 6-7 лет наметилась тенденция к постепенному снижению численности *M. leidyi* (Kideys A.E., 2001), а через 10 лет, когда произошло вселение его облигатного хищника *B. ovata*, численность упала особенно значительно (Луппова, 2002; Арашкевич и др. 2001). Таким образом, заметные изменения численности вида-вселенца, мощно преобразующего биоту, происходят спустя 5-10 лет, и большой научный и практический интерес представляют собой долговременные мониторинговые исследования. Поэтому трудно переоценить необходимость проведения таких исследований пелагиали Черного моря – меромиктического водоема, биота которого особенно уязвима, и которое является удачным модельным объектом вследствие его закрытости и относительно бедной фауны.

Основной целью нашей работы было исследовать динамику численности студенистого макрозоопланктона в Черном море спустя 8-10 лет и 12-15 лет после появления второго их вселенцев. Для этого нами были проведены мониторинговые исследования на шельфе в районе ЮО ИО РАН (г.Геленджик).

Материал и методы

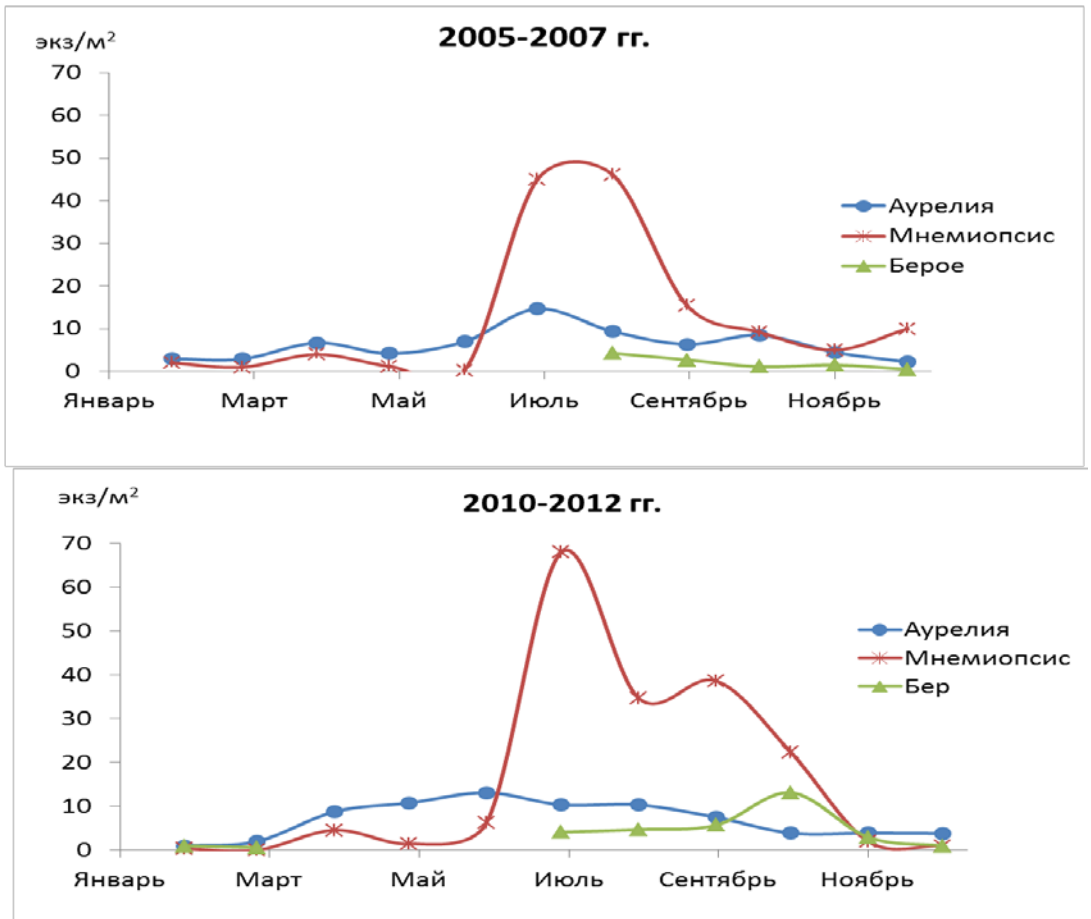
Круглогодичный судовой мониторинг выполнялся на стандартном 5-мильном разрезе от берега до глубины 500 м на траверзе Голубой бухты (станции на изобатах 25, 50 и 500 м). Первый период исследований проводился в 2005-2007 гг., второй период – в 2010-2012 гг. , с февраля по конец декабря. Всего выполнено 78 судовых экспедиционных выходов, как правило, в летнее время выходы осуществлялись 2 раза в месяц, а в холодное время года – 1 раз в месяц. Данные были осреднены по станциям и для каждого месяца.

Макрозоопланктон собирали конической сетью с площадью входного отверстия 0.5 м^2 и размером ячеи 500 мкм. Немедленно после отбора пробу переливали в просторный сосуд с морской водой. Студенистый макрозоопланктон (гребневиков и медуз) подсчитывали и измеряли в «живой» пробе. Животных поочередно переносили в прозрачный сосуд и измеряли их размер линейкой, приложенной ко дну сосуда: у гребневиков длину тела измеряли от

аборального органа до рта; у медуз измеряли диаметр купола. Вес тела в единицах углерода определяли по формулам зависимости содержания углерода от длины тела, полученным для гребневиков *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* (Finenko et al., 2003) и медуз *Aurelia aurita* (Anninsky, 2009) Черного моря, которые стандартно используются в нащих исследованиях (Арашкевич и др., 2015).

Результаты и обсуждение

Во все годы исследований в течение гидрологической зимы численность всех представителей студенистого макрозоопланктона была низкой, для *Aurelia aurita* *Mnemiopsis leidyi* в среднем составляя 2 и 1 экз/м^2 соответственно. *Beroe ovata* в это время в 2005-2007 гг. отсутствовал полностью, однако встречался в более поздние годы исследований, к апрелю всё же исчезая из акватории до середины лета. В конце марта - начале апреля начинается прогрев воды (Луппова, 2014), и происходит ежегодное небольшое увеличение численности *A. aurita* и *M. leidyi*. Однако если численность медузы немного вырастает в течение мая-июня, то численность мнемиопсиса падает почти до нуля, что вероятнее всего связано с недостатком пищи и отмиранием старых особей (Луппова,, 2014).



Сезонная динамика численности студенистого макрозоопланктона в разные годы

В июле-августе численность медузы немного вырастает (2005-2007) или немного уменьшается (2010-2012), по-видимому, завися от обилия кормовой базы и пресса конкурента – мнемиопсиса, в целом оставаясь примерно на том же уровне, как весной. В эти же месяцы *M. leidyi* дает резкую вспышку численности, которая увеличивается до 50-70 экз/м^2. В 2005-2007 гг. численность его оставалась высокой (46 экз/м^2, в среднем) почти в течение двух месяцев и снижалась к сентябрю почти так же резко, как и увеличилась. В 2010-2012 гг. увеличение численности происходило ещё более интенсивно и достигало, в среднем, 68 экз/м^2, но пик обрывался резким спадом, очевидно, в связи с более ранним в эти годы появлением берое. В августе численность мнемиопсиса падала до 34 экз/м^2, и к сентябрю даже немного увеличивалась. *B. ovata* на шельфе в 2005-2007 гг. отсутствовал в первой половине года вплоть до августа, н в 2010-2012 гг. встречался в феврале и марте, и вновь появлялся летом раньше, в июле. Численность берое всегда оставалась невысокой, но в более поздние годы наблюдается некоторое ее увеличение (1 и 4 экз/м^2, в среднем, соответственно). В 2010-2012 гг., происходил ее заметный рост (13 экз/м^2, в среднем) в октябре. Такая поздняя вспышка численности объясняется тем, что успех размножения берое зависит от успешного размножения мнемиопсиса, так как личинки *B. ovata* питаются исключительно личинками жертвы (Луппова и др., 2011), следовательно раннее исчезновение последних из акватории влечет за собой гибель потомства хищника. Небольшие колебания численности медузы зависели от колебаний численности пищевого конкурента, но оставаясь на уровне 4-7 экз/м^2.

В ноябре численность во все годы и для всех видов снижалась. В это время начинается интенсивное перемешивание воды, поверхностный слой охлаждается, турбулентность в нем высока (Подымов, Зацепин, 2016). Абиотические условия для нахождения в нем студенистого макрозоопланктона становятся неблагоприятными, кормовая база оскудевают (Луппова, 2014). Снижение сохраняется и в декабре, кроме одного исключения – в 2007 г. численность *M. leidyi* неожиданно выросла. По-видимому, этому способствовало особенно раннее исчезновение хищника *B. ovata* из акватории.

Заключение

Численность всех трех представителей студенистого макрозоопланктона на северо-восточном шельфе Черного моря увеличивается в теплое время года в разной степени. *Mnemiopsis leidyi* дает резкую вспышку численности в середине лета, и к этому времени приурочено появление его хищника - *Beroe ovata.* Пик размножения мнемиопсиса ежегодно срезается хищником, однако продолжительное размножение жертвы не только благоприятствует, но является необходимостью для успешного размножения берое, а резкие снижения и увеличения численности одного вида этих вселенцев влекут за собой не менее резкие колебания численности другого. В более поздний период вселения - 2010-2012 гг. наблюдается тенденция к успешной коадаптации этих видов в Черном море.

Численность медузы *Aurelia aurita* также зависит от численности пищевого конкурента - *M. leidyi*, однако в силу того, что жизненный цикл и толерантность к температуре у них заметно отличаются, эта зависимость проявляется относительно мягко.

В зимнее время всегда наблюдается снижение численности всех трех видов, что объясняется оскудеванием кормовой базы и неблагоприятными абиотическими условиями на шельфе в этот период.

Благодарности

Автор благодарит А.Г. Зацепина за помощь в организации экспедиционных работ. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта №19-44-230035.

Список литературы

Арашкевич Е.Г., Анохина Л.Л., Востоков С.В., Дриц А.В., Лукашева Т.А., Луппова Н.Е., Мусаева Э.И., Толомеев А.Н.. Репродукционная стратегия *Beroe ovata* (Ctenophora, Atentaculata, Beroida) - нового вселенца в Черное море// Океанология – 2000. - Т. 41. - №1. - С. 116 – 120.

Арашкевич Е.Г., Луппова Н.Е., Никишина А.Б., др. Судовой экологический мониторингв шельфовой зоне Черного моря: оценка современного состояния пелагической экосистемы // Океанология. 2015. Т. 55. № 6. С. 956-964.

Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Анохина Л.Л. и др. Массовое развитие гребневика Beroe ovata Escholtz у северо-восточного побережья Черного моря // Океанология. – 2000. – 40, № 1. – С. 52 – 55.

Луппова Н.Е. Beroe ovata Mayer,1912 (Ctenophora, Atentaculata, Beroida) в прибрежных водах северо-восточной части Черного моря).// Экология моря – 2002. - Вып. 59, С. 23-25.

Луппова Н. Е., Арашкевич Е. Г., Косьян А. Р. Размножение гребневика *Beroe ovata* (Ctenophora, Atentaculata, Beroida) в Чёрном море : плодовитость, развитие яиц, питание и рост его личинок в зависимости от условий обитания // Комплексные исследования Чёрного моря / под ред. Н. В. Есина, Б. С. Ломазова. М. : Научный мир, 2011. С. 53 – 54.

Луппова Н.Е. Динамика численности и структуры популяции гребневика-вселенца *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz (Mnemiopsida, Tentaculata) в прибрежной зоне Северо-Восточной части Черного моря. Поволжский экологический журнал, 2014, №4, С. 537-543

Подымов О.И., Зацепин А.Г. Сезонные изменения солености воды в Геленджикском районе Черного моря по данным судового мониторинга // Океанология. 2016. Т. 56.№ 3. С. 370-383.

Anninsky B.E. Organic composition and ecological energetics of jellyfish Aurelia auritaL. (Cnidaria, Scyphozoa) under the Black Sea conditions // Trophic relationships andfood supply of heterotrophic animals in the pelagic ecosystem of the Black Sea / Eds.Shulman G.E. et al. Istanbul: Black Sea Commission Publications, 2009. P. 99-160.

Kideys A.E. Fall and rise of the Black Sea ecosystem //Science. 2002. V. 297. № 5586.P. 1482-1484.

Finenko G.A., Romanova Z.A., Abolmasova G.I. et al. Population dynamics, ingestion,growth, and reproduction rates of the invader Beroe ovata and its impact on planktoncommunity in Sevastopal Bay, the Black Sea // J. Plankton Res. 2003. V. 25 (5). P. 539–549.

ЧТО МЫ ЗНАЕМ О САМЦАХ БЕЛОМОРСКОГО КАЛЯНУСА? ЛЮБОПЫТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ САМЦОВ АРКТИЧЕСКИХ КОПЕПОД

Кособокова Ксения Николаевна

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИОРАН), г. Москва

Введение

Копеподы рода *Calanus* играют важную роль в морских экосистемах Северной Атлантики и Арктики. Они являются основными потребителями фитопланктона в море, и потому оказывают огромное влияние на процессы трансформации органического вещества, создаваемого в пелагиали в ходе первичной продукции. Они преобладают в планктоне по биомассе и служат основой кормовой базы для животных высших трофических уровней – рыб, морских птиц и млекопитающих. Знание особенностей их жизненных циклов, сезонной и пространственной динамики обилия исключительно важно для понимания процессов передачи энергии в морских экосистемах этих районов.

Изучению географического распространения представителей рода *Calanus*, их обилия, экологии и жизненных циклов посвящена обширная литература. Однако не секрет, что в большинстве работ при анализе состава популяций *Calanus* в высокоширотных районах обычно приводятся только данные об их ювенильных (копеподитных) стадиях и взрослых самках (Daase et al., 2013). Данные о самцах, без которых невозможно успешное воспроизводство этих рачков, размножающихся половым путем, в литературе практически отсутствуют (Ji et al., 2011; Daase et al., 2013; Feng et al., 2017). Причины отсутствия данных кроются в том, что самцы *Calanus* практически не встречаются в популяциях арктических и субарктических видов (*Calanus hyperboreus, C. glacialis, C. finmarchicus*) в безледный период, когда в арктических шельфовых морях и глубоководном Арктическом бассейне в основном и проводятся сборы зоопланктона (Marshall and Orr, 1955; Кособокова, 1998, 2012). Соотношение полов во взрослой части популяций *Calanus* в этот период резко сдвинуто в сторону преобладания самок. Например, в Белом море численность самцов арктического вида *Calanus glacialis* с весны до осени колеблется в диапазоне от 1 самца на 100 самок до 1 самца на 1000 самок (Kosobokova, 1999). В планктоне Белого моря и в других холодноводных районах Северного полушария самцы *C. glacialis* появляются осенью, и, по немногочисленным данным, присутствуют в водной толще преимущественно зимой (Кособокова, 1998, 2012; Kosobokova, 1999; Ashjian et al., 2003).

Данные и методы

В ходе настоящей работы были впервые получены данные об обилии, размерном и видовом составе, вертикальном распределении и репродуктивном статусе самцов копепод р. *Calanus* в пяти фьордах Шпицбергена в зимний период. Материал для исследования был собран в ходе судовой экспедиции на э/с «Helmer Hanssen» в январе 2015 и 2016 гг. в Конгсфьорде, Рийпфьорде, Исфьорде, Биллефьорде и Смееренбургфьорде (Рис. 1). Зоопланктон собирали путем количественных послойных и качественных ловов планктонными сетями Multinet Midi (Hydrobios, Kiel) с площадью входного отверстия 0,25 м^2 и размером ячеи 180 мкм.

Всех особей *Calanus* в пробах подсчитывали под бинокулярным микроскопом Olympus SZX-12, определяли стадию их развития и измеряли длину просомы рачков латерально от конца головного конца до заднего края последнего торакального сегмента. Для разделения видов *C. glacilais* и *C. finmarchicus* использовали размерные критерии, ранее предложенные в работе (Daase and Eiane, 2017).

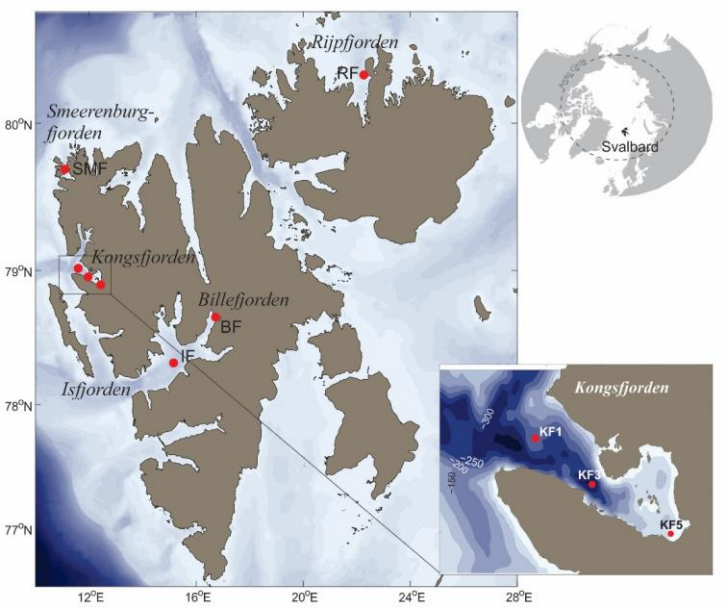


Рис. 1. Схема расположения станций во фьордах Шпицбергена

.

Результаты

Изучение состава популяций преобладавших в исследованных фьордах атлантического вида *C. finmarchicus* и арктического *C. glacialis* показало, что первый в основном был представлен зимующими копеподитными стадиями IV-V, тогда как его взрослые самки были немногочисленны (Рис. 2).

Популяция второго вида состояла из зимующих копеподитных стадий (III-V). Наряду с ними массово встречались взрослые самки *C. glacialis*. Самцы *Calanus* в январе также присутствовали, причем в количествах, никогда не наблюдающихся летом. Их численность в Рийпфьорде, например, составляла 1200 экз $м^{-2}$ во всей толще воды при общей численности взрослых рачков 1700 экз $м^{-2}$. Численность самцов, таким образом, превосходила численность взрослых самок *Calanus* в этом фьорде почти в 2,5 раза.

Изучение морфологии и размерной структуры рачков показало, что все самцы принадлежали исключительно к одному виду рода - *C. glacialis*. Результаты морфологических исследований были проверены с помощью молекулярно-генетических анализов [9], которые также подтвердили наличие в пробах только самцов *C. glacialis*.

Соотношение полов в популяции *C. glacialis* в январе 2015 и 2016 гг. в большинстве фьордов составляло от 1 самца на 1 самку до 3 самцов на 4 самки, т.е. было близко к единице, что существенно отличалось от соотношения полов в другие сезоны. В наиболее северном Рийпфьорде (Рис. 1) самцы даже преобладали по численности над самками в 1,5 раза (Табл.), и соотношение полов составляло 3 самца на 2 самки.

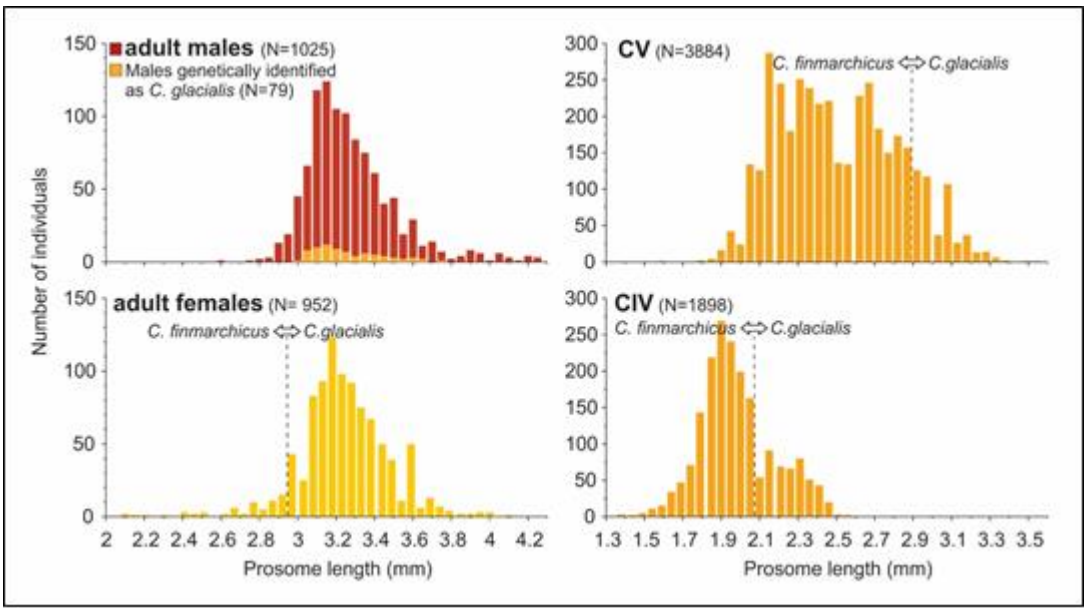


Рис. 2. Размеры взрослых самцов (adult males), самок (adult females), V и IV копеподитов (CV и CIV) *Calanus* в Конгсфьорде, январь 2015 г.

Таблица. Численность самцов и самок C. glacilais во фьордах Шпицбергена в январе 2015 и 2016 г., соотношение полов (самцы:самки) во взрослой популяции и доля (%) самок со сперматофорами

Фьорд, станция	Слой облова (м)	Численность самцов, экз.	Численность самок, экз.	Соотношение полов, самцы:самки	% самок со сперматофором
2015 г.					
KB1	230-0	50	79	6.3 : 10	13.9
KB	320-0	159	617	2.6 : 10	9.2
KB5	70-0	29	34	8.5 : 10	17.6
2016 г.					
R3	265-0	310	205	15 : 10	Нет данных
BAB	180-0	64	271	2.3 : 10	Нет данных
KB3	320-0	96	149	6.4 : 10	8.1
IsK	258-0	83	128	6.5 : 10	12.5
SMF	200-0	22	72	3.0 : 10	8.3

От 9 до 18% взрослых самок несли прикрепленные сперматофоры (Табл.), что указывало на активное спаривание самцов и самок в популяции *C. glacialis* в период сбора материала. Как самцы, так и самки встречались на всех глубинах, по-видимому, перемещаясь по вертикали в процессе поиска партнера для спаривания. Почти на всех глубинах численность самцов была близка к численности самок, а в отдельных слоях воды численность самцов даже превышала численность самок.

Заключение

Полученные результаты позволяют по-новому подойти к оценке роли зимнего периода в жизненном цикле арктической копеподы *C. glacialis*. Судя по полученным данным, основной сезон размножения самцов приходится на зимний период, таким образом, очевидны сезонные различия в проявлении репродуктивной активности у разных полов вида. Этот факт необходимо принимать во внимание при трактовке жизненного цикла *C. glacialis* и проведении модельных исследований.

Корректировки требуют и существующие представления о сезонных изменениях вертикального распределения (сезонных миграциях) *C. glacialis* (а, возможно, и других представителей рода), так как стало очевидно, что не вся его популяция концентрируется на глубинах в течение зимы, как считалось ранее (Кособокова, 1998; Ashjian et al 2003). Наши данные показали, что, по крайней мере, в середине зимнего периода взрослые особи рассредоточиваются в пределах всего водного столба. Остается неясным, когда происходит их рассредоточение и подъем в верхние слои после обычной осенней миграции на глубины (Кособокова, Перцова, 2018), а также следует ли за ним опускание и концентрация на глубинах после копуляции.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы Госзадания ИОРАН № 0149-2019-0008 и при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 19-04-00955) и Российского Научного Фонда (проект № 19-17-00058), а также Норвежского Исследовательского Совета (проект FADE).

Список литературы

1. Кособокова К.Н. Новые данные о жизненном цикле *Calanus glacialis* в Белом море (на основе сезонных наблюдений за развитием генеративной системы) // Океанология. 1998. Т. 38. № 3. С. 387–396.
2. Кособокова К.Н. Зоопланктон Арктического бассейна: структура сообществ, экология, закономерности пространственного распределения. Москва: ГЕОС, 2012. 272 с.
3. Кособокова К.Н., Перцова Н.М.
4. Kosobokova K.N. The reproductive cycle and life history of the Arctic copepod *Calanus glacialis* in the White Sea // Polar Biology. 1999. V. 22. P. 254-263
5. Ashjian C.J., Campbell R.G., Welch H.E., Butler M., Van Keuren D. Annual cycle in abundance, distribution, and size in relation to hydrography of important copepod species in the western Arctic Ocean // Deep-Sea Research I. 2003. V. 50. P. 1235–1261.
6. Daase M., Eiane K. Mesozooplankton distribution in northern Svalbard waters in relation to hydrography // Polar Biology. 2007. V. 30. P. 969−981.
7. Daase M., Falk-Petersen S., Varpe Ø., Darnis G., Søreide J.E., Wold A., Leu E., Berge J., Philippe B., Fortier L. Timing of reproductive events in the marine copepod *Calanus glacialis*: a pan-Arctic perspective // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2013. V. 70. P. 871-884. Doi:10.1139/cjfas-2012-0401.
8. Feng Z., Ji R., Ashjian C., Campbell R., Zhang J. Biogeographic responses of the copepod *Calanus glacialis* to a changing Arctic marine environment // Global Change Biology. 2017. DOI: 10.1111/gcb.13890.
9. Ji R.B., Ashjian C.J., Campbell R.G., Chen C.S., Gao G.P., Davis C.S., Cowles G.W., Beardsley R.C. Life history and biogeography of *Calanus* copepods in the Arctic Ocean: An

individual-based modeling study // Progress in Oceanography. 2012. V. 96. P. 40-56. Doi:10.1016/j.pocean.2011.10.001.

10. Marshall S.M., Orr A.P. The Biology of a marine copepod (*Calanus finmarchicus* Gunnerus). 1955. Springer-Verlag, Berlin and New York. Oliver & Boyd Edinburgh.

11. Kosobokova, K.N., Pertsova N.M. Zooplankton of the White Sea: Communities' Structure, Seasonal Dynamics, Spatial Distribution, and Ecology. In: A. P. Lisitzin and V. Gordeev (eds.), Biogeochemistry of Atmosphere, Ice and Water of the White Sea: The White Sea Environment. Part I, Hdb Env Chem. 2018. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, pp. 223-266. https://doi.org/10.1007/698_2018_347

Морская биология

Стендовые доклады

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ *Anadara kagoshimensis* (BIVALVIA) В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ.

Колючкина Галина Антоновна[1], Симакова Ульяна Вадимовна[1], Елена Дунка (Elena Aliona Meret (Dunca))[2], Семин Виталий Леонидович[1], Птушкин Михаил Дмитриевич[3], Тимофеев Виталий Анатольевич[4], Рязанцев Константин Михайлович[5]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва 117997 galka.sio@gmail.com*

[2] *Naturhistoriska riksmuséet Sektionen för Paleobiologi Box 50007 104 05 Stockholm, Sweden*

[3] *Московский педагогический государственный университет, Москва 119991*

[4] *Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь 299011*

[5] *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского, Москва 119991*

Введение

Anadara kagoshimensis (Arcidae, Bivalvia) – вид, вселившийся в Азово-Черноморский бассейн в конце 1960-х гг. (Киселева, 1992), в настоящее время здесь полностью натурализировался и стал одним из доминирующих в прибрежных сообществах (Ревков, 2016; Семин и др., 2020). Оценка продолжительности жизни особей этого вида необходима для прогнозирования динамики его популяции и является малоизученной темой для региона вселения. Наибольший возраст анадар в Азово-Черноморском регионе ранее оценивался в 7 лет, при этом размеры наиболее крупных особей достигали 85 мм (Sahin et al., 2009). Оценка возраста моллюсков проводилась по биометрическому методу, основанному на выявлении размерных классов по максимумам на кривой распределения длин раковин в большой выборке. Для видов с существенным замедлением роста с возрастом, к которому относится и анадара (Пиркова, 2012), такой метод работает только для нескольких первых лет жизни. При дальнейшем увеличении возраста раковина моллюска увеличивается настолько незначительно, что погрешность измерения биометрического метода может превышать годовой прирост. Определение возраста по спилам раковины позволяет преодолеть эту проблему. Целью работы было определение по спилам раковины максимального возраста анадар в регионе вселения и оценка наибольшей продолжительности жизни этих моллюсков в разных районах бассейна.

Данные и методы

У *Anadara kagoshimensis* раковина сотсоит из 4-х слоев: наружного органического – периостракума, подповерхностного сложно-призматического слоя, промежуточного – перекрещенно-пластинчатого и внутреннего очень тонкого (80 мкм толщиной), состоящего из тонких неупорядоченных кристаллов (Tian et al., 2010). Рост раковины у анадар происходит неравномерно (Nishida, Sasaki, 2018): периоды интенсивного роста (когда много энергии тратится на откладывание раковинного материала, и могут откладываться энергозатратные слои сложного призматического материал, бедные органикой) сменяются периодами задержек роста (когда откладываются преимущественно менее энергозатратные слои перекрещенно-пластинчатого, богатые органикой). В настоящей работе впервые для азово-черноморского региона проводились исследования возраста анадар по спилам раковины, поэтому для выявления соответствия зон роста раковин временным периодам проводили сезонный сбор материала (по 8 экземпляров моллюсков размером 25-35 мм) на косе Чушка (Керченский пролив) в течение более трех лет (декабрь 2015г., март, сентябрь и ноябрь 2016 г., март, июль, август и декабрь 2017 г., апрель и июль 2018 г.) Моллюсков собирали тотально вручную с использованием комплекта №1 с глубины 1 м, при этом

размерные классы до 25 мм в исследовании не использовали. После этого измеряли длину раковины анадар с использованием штангенциркуля. Всего в 2014-2020 гг. для оценки размерной и возрастной структуры было собрано 777 моллюсков из Черного моря (Бугазская коса. пос. Дивноморское, бух. Инал, пос. Шепси), Керченского пролива (порт Кавказ) и Таманского залива (пос. Сенной). Для 146 экземпляров были изготовлены радиальные спилы раковин. Изготовление и шлифовку спилов проводили в лаборатории ПИН РАН, ГЕОХИ РАН и в Институте Естественной истории (Стокгольм, Швеция).

Прозрачная зона задержки роста (преимущественное откладывание перекрещенно-пластинчатого материала) у половозрелых особей на косе Чушка на краю раковины отмечалась преимущественно в конце летнего периода – августе-сентябре, что соответствует периоду интенсивного созревания и вымета половых продуктов (Чикина и др., 2003). На спилах раковины слои прироста более 6-7 лет были трудноразличимы из-за малой толщины, а анализ спилов лигаментов раковин, где прирост более равномерен, позволил выявлять приросты и у старших возрастных групп.

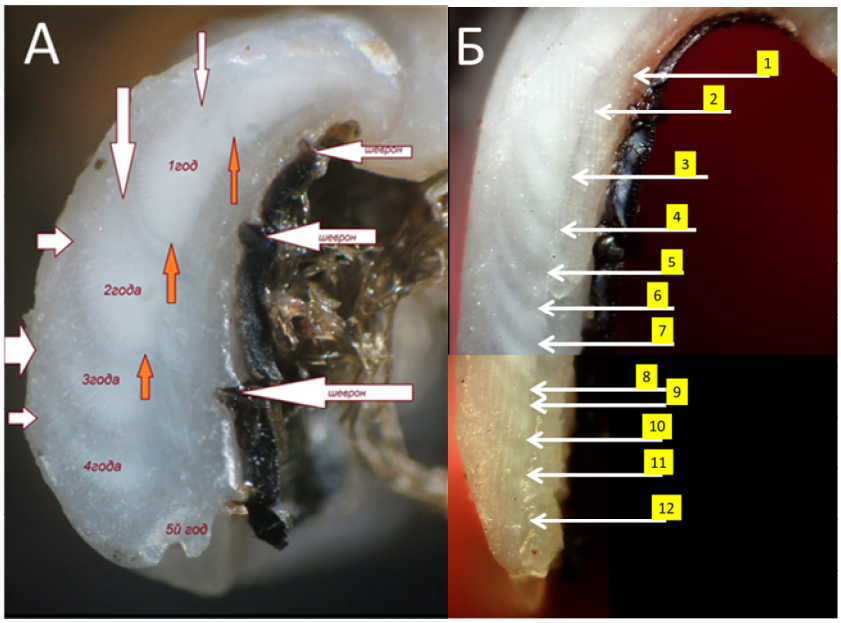


Рис. 1. Чередование прозрачных и непрозрачных полос роста на лигаменте *Anadara kagoshimensis*, собранной в июле 2019 г. в районе Порта Кавказ в Керченском проливе (а) и в районе бухты Инал в Черном море в июле 2014 г. (б). Оранжевыми стрелками показаны промежуточные зоны задержки роста, белыми – основные; цифрами обозначены годы.

Результаты

Размеры черноморских моллюсков достигали 61 мм, моллюсков, собранных в Таманском заливе и Керченском проливе не превышали 50 мм. Наибольшие размеры моллюсков, найденных в 2014-2020 гг. на северо-восточном побережье Черного моря были более чем на 20 мм меньше, известных по литературным данным для черноморского региона (Sahin et al., 2009). Это может объясняться более южным районом исследования в работе турецких коллег – южный берег Черного моря, где температурный режим может быть иным, соответственно, скорость роста анадар может быть выше.

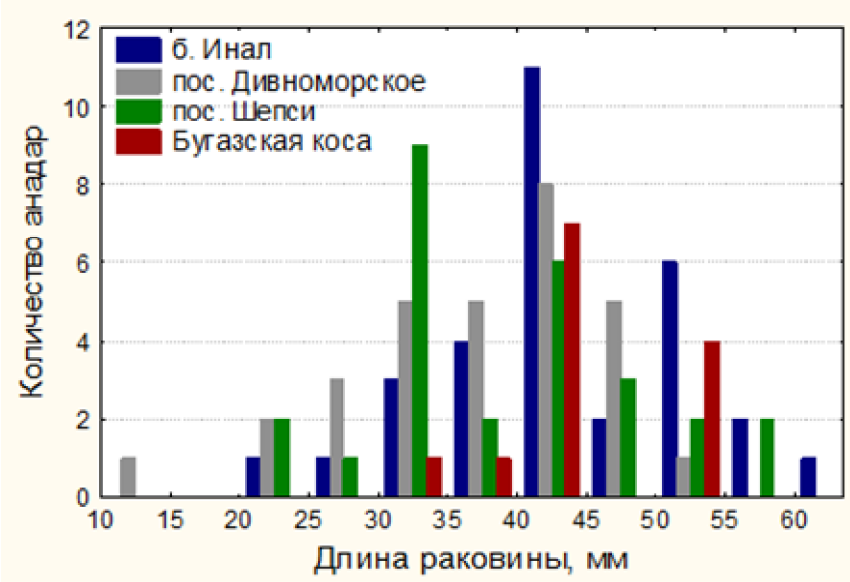


Рис. 2. Размерная структура анадар, собранных водолазным методом, в разных районах черноморского побережья РФ в 2014 г.

Среди исследованных экземпляров (N=146) были отмечены анадары возрастных групп от 1+ до 13+. Таким образом, полученные в настоящем исследовании данные по максимальному возрасту анадар превышают оценки, сделанные на основании биометрического метода почти в два раза (Sahin et al., 2009). Зависимость между длиной раковин и возрастом наиболее достоверно аппроксимировалась экспоненциальной регрессией ($R^2 = 0,49$):

$$y = 0,3454e^{0,0567x}.$$

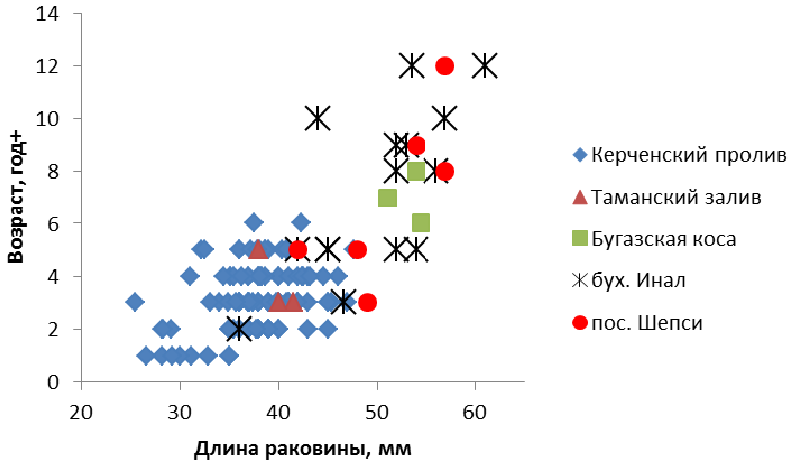


Рис. 3. Зависимость длины раковины от возраста *Anadara kagoshimensis* (N=146).

Наиболее старшие возрастные категории, также как и наиболее крупные особи, были встречены на побережье Черного моря в 2014-2016 гг. Черноморская популяция отличалась более крупными и массивными раковинами и большей продолжительностью жизни отдельных особей, чем керченско-таманская. Разница в размерной и возрастной структуре анадар из этих районов может объясняться более высоким в Керченско-Таманском районе по сравнению с открытым побережьем Черного моря прессом рыб-бентофагов, которые способны питаться мелкоразмерными особями анадар, пока их раковина не становится

слишком прочной. Кроме того, это может быть связано с разницей в условиях обитания – глубинах (1-6 м в керченско-таманском районе и 7-15 м в Черном море), интенсивным прессом паразитических организмов (*Ostracoblabe implexa, Polydora* spp.) в керченско-таманском районе (Птушкин и др., 2020).

Благодарность

Авторы чрезвычайно признательны сотрудникам ПИН РАН Е.Б. Наймарк и Н.А. Скорлотовой, за помощь в изготовления спилов раковин анадар.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ИО РАН № 0149-2019-0008, ЮО ИО РАН № 149-2019-0014 и ФИЦ ИнБЮМ РАН № 0828-2018-0002 (номер гос. регистрации АААА-А18-118020890074-2).

Список литературы

Киселева М.И. Сравнительная характеристика донных сообществ у побережья Кавказа / М. И. Киселева // Многолетние изменения зообентоса Черного моря. Киев: Наукова думка. – 1992. – С. 84-98.

Пиркова А.В. Рост двустворчатого моллюска *Anadara inaequivalvis* (Bivalvia) в Черном море при садковом выращивании. Труды ЮгНИРО. – 2012. – Т. 2. – С. 73–78.

Птушкин М.Д., Колючкина Г.А., Симакова У.В. Изучение случаев заболевания двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* паразитическим грибом *Ostracoblabe implexa*// Труды VIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2019)» Том I (III): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС». – 2020. – С. 483-485

Ревков Н. К. Особенности колонизации Чёрного моря недавним вселенцем – двустворчатым моллюском *Anadara kagoshimensis* (Bivalvia: Arcidae). Морской биологический журнал. – 2016. – Т. 1(2). – С. 3-17.

Семин В.Л., Колючкина Г.А., Григоренко К.С., Савикин А.И., Олейников Е.П., Московец А.Ю., Глебова М.А. Изменения донной фауны азовского моря в условиях аномального осолонения //Труды VIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2019)» Том I (III): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС». – 2020. – С. 490-493.

Чикина М. В., Колючкина Г. А., Кучерук Н. В. Аспекты биологии размножения *Scapharca inaequivalvis* (Bruguière)(Bivalvia, Arcidae) в Черном море// Экология моря. – 2003. Т. – 64. С. 72-77.

Nishida K., Sasaki T. Geographical and Seasonal Variations of the Shell Microstructures in the Bivalve *Scapharca broughtonii*// Biomineralization. – 2018. V. 177.

Sahin C., Emiral H., Okumus I., Gozler A. M., Kalayci F., Hacimurtezaoglu, N. The benthic exotic species of the Black Sea: blood cockle (*Anadara inaequivalvis*, Bruguiere, 1789: Bivalve) and Rapa whelk (*Rapana thomasiana*, Crosse, 1861: Mollusc)// Journal of Animal and Veterinary Advances. – 2009. – V. 8(2). – P. 240-245.

Tian X., Han Z., Li X., Pu Z., Ren L. (Biological coupling anti-wear properties of three typical molluscan shells – *Scapharca subcrenata, Rapana venosa* and *Acanthochiton rubrolineatus*//Science China Technological Sciences. – 2010. –V. 53(11). P. 2905-2913.

ПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА *OPHIURA SARSII* LÜTKEN, 1855 В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ.

Назарова София Александровна, Стратаненко Екатерина Алексеевна, Генельт-Яновский Евгений Александрович

ГБУН Зоологический институт РАН (ЗИН РАН, Санкт-Петербург)

Змеехвостка *Ophiura sarsii* – широко распространенный бореально-арктический вид. В Баренцевом море эта офиура встречается повсеместно, формируя наиболее массовые скопления в водах Шпицбергена (биомасса до 18 г/м^2) (Анисимова, 2000). На основании исследования морфологической изменчивости данного вида ранее было выдвинуто предположение о том, что *O.sarsii* состоит из двух таксонов подвидового уровня, - *O. sarsii typica* и *O. sarsii vadicola* Данное предположение было подтверждено в результате недавнего исследования генетической структуры O.sarsii в тихоокеанской части ареала (Li et al., 2020). Целью данной работы стало исследование генетического разнообразия змеехвостки *O. sarsii* в Баренцевом море В арктических морях и Атлантике встречается только подвид *O. sarsii typica (*Дьяконов, 1954*)*, а данные о генетическом разнообразии популяций практически отсутствуют, за исключением отдельных последовательностей, полученных в ходе баркодинговых проектов.

Материалом для работы послужили сборы офиур, проведенные в ходе 17 экосистемной съемки Баренцева моря (Barents Sea Ecosystem Survey), совместно проводимой Полярным филиалом ВНИРО (ПИНРО, Россия) и Институтом морских исследований (IMR, Норвегия) в сентябре 2019 года в районе Шпицбергена, и 4 этапа экспедиции “ТРАНСАРКТИКА-2019” в морях Восточно-Вибирском и Лаптевых. Также использовали данные любезно предоставленные Н.А. Стрелковой (Полярный филиал ФГБНУ “ВНИРО”), собранные в ходе 114 рейса НИС “Вильнюс” в южной части Баренцева моря. Змеехвосток выбирали из донного осадка, отмывали в морской воде и фиксировали в 96% этанол.

Выделение ДНК проводили с помощью набора реактивов QIAamp Fast DNA Tissue Kit (QiaGen). Для амплификации фрагмента гена цитохромоксидазы I (COI) длиной 700 п.н. использовали специально подобранный прямой праймер OphS_COI_full_F (TTC TAC CAA CCA TAA GGA TAT AGG G) в паре со универсальным обратным праймером HCO-2198 (TAA ACT TCA GGG TGA CCA AAA AAT CA) (Folmer et al., 1994). Реакционная смесь для проведения ПЦР содержала 3 µl ДНК образца, 5 µl смеси для ПЦР ScreenMix-HS (Евроген), 13 µl дистиллированной воды, и 2 µl каждого праймера (10 pmol). ПЦР проводили при следующих условиях: начальная денатурация ДНК при 94°C - 2 мин., затем 40 циклов с денатурацией при 94°C в течении 30 сек., отжиг праймеров при 52°C в течении 60 сек, элонгация ДНК при 72°C в течении 60 сек., и финальная элонгация при 72°C в течении 7 мин. Для полученных ПЦР-фрагментов проводили двухстороннее секвенирование в компании “Евроген” (Россия).

В качестве сравнительного материала для данной работы использовали последовательности ДНК, опубликованные в базе NCBI GenBank, для образцов из Исландии (KJ620617 - KJ620623, Khodami et al., 2014), морей Баффина (KU495754, KU495803, Layton et al., 2016), Лаптевых (MN889975 - MN889978, Li et al., 2020) и Чукотского (MN183293 - MN183295, Li et al., 2020).

В результате, собственные данные включают 63 последовательности митохондриальной ДНК (34 из района Шпицбергена, 19 - из открытой части Баренцева моря, 1 - из моря Лаптевых и 9 - из Восточно-Сибирского моря). Полное выравнивание, включая последовательности из NCBI после выравнивания включало в себя 80 последовательностей ДНК длиной 547 п.н. Полученные фрагменты гена COI содержали 59 вариабельных сайтов. Всего было обнаружено 33 гаплотипа. В выборках офиур из Баренцева моря обнаружено 19 гаплотипов, в том числе 17 уникальных (индекс гаплотипического разнообразия Hd 0.86±0.001). Число уникальных гаплотипов в районе Шпицбергена составило 8 (Hd 0.84±0.003), а в южной части Баренцева моря - 5 гаплотипов (Hd 0.91±0.002).

Для определения филогенетических отношений гаплотипов была построена гаплотипическая сеть с использованием дистанции Хэмминга (Hamming distance)(рис. 1) в пакете pegas в R (Paradis E. 2010). В Баренцевом море выявлен 1 доминантный гаплотип и три субдоминантных. При этом выраженной пространственной структуры выявлено не было, поскольку все четыре гаплотипа встречаются как в северной (Шпицберген), так и в южной частях моря. Вокруг доминантного гаплотипа формируется характерная звездчатая структура, характерная для видов претерпевших относительно недавнюю популяционную экспансию. Гаплотипы особей из морей Лаптевых (LAP), Восточно-Сибирского (ESS) и Чукотского (CHS) также формируют звездчатую структуру, и отличаются от гаплотипов офиур из атлантического сектора Арктики на 33 нуклеотидных замены. В целом, гаплотипы офиур из атлантического сектора Арктики формируют две группы, различающиеся на 11 нуклеотидных замен. Одна группа имеет звездчатую форму и содержит гаплотипы змеехвосток из района Шпицбергена (SVD), открытой части Баренцева моря (BAR), Исландии (ICE) и моря Баффина (BAF). Другая гаплогруппа состоит из гаплотипов офиур из района Шпицбергена (SVD), открытой части Баренцева моря (BAR) и Исландии (ICE).

Значительная генетическая дистанция между “восточной” группой офиур из Чукотского и сибирских морей и группой особей из атлантического сектора Арктики соответствует наличию географической изоляции между данными акваториями. Распределение *O.sarsii* в Арктике описывают как циркумполярное (Дьяконов, 1954; Анисимова, 2000; Piepenburg, 2000), однако, по данным коллекции Зоологического института РАН (рис. 2), данный вид практически отсутствует в Карском море, и достаточно ограниченно встречается в Восточно-Сибирском и море Лаптевых.

Таким образом, в результате нашего исследования в Баренцевом море было выявлено две митохондриальных филогенетических линий змеехвосток *O. sarsii*, при отсутствии популяционной структуры. Выяснение происхождения данных групп и механизмов поддержания их изоляции требует дальнейшего изучения.

Авторы благодарны Н.Е. Журавлевой, О.Л. Зиминой, Н.А. Стрелковой, С.Г.Денисенко и О.В.Баженовой за полевые сборы офиур. Работа выполнена на базе ЦКП “Таксон” ЗИН РАН при поддержке гранта РФФИ-ГФЕН 19-54-53028, РФФИ 18-05-60157 Арктика, и государственных заданий АААА-А19-119020690072-9 и АААА-А19-119020790106-0.

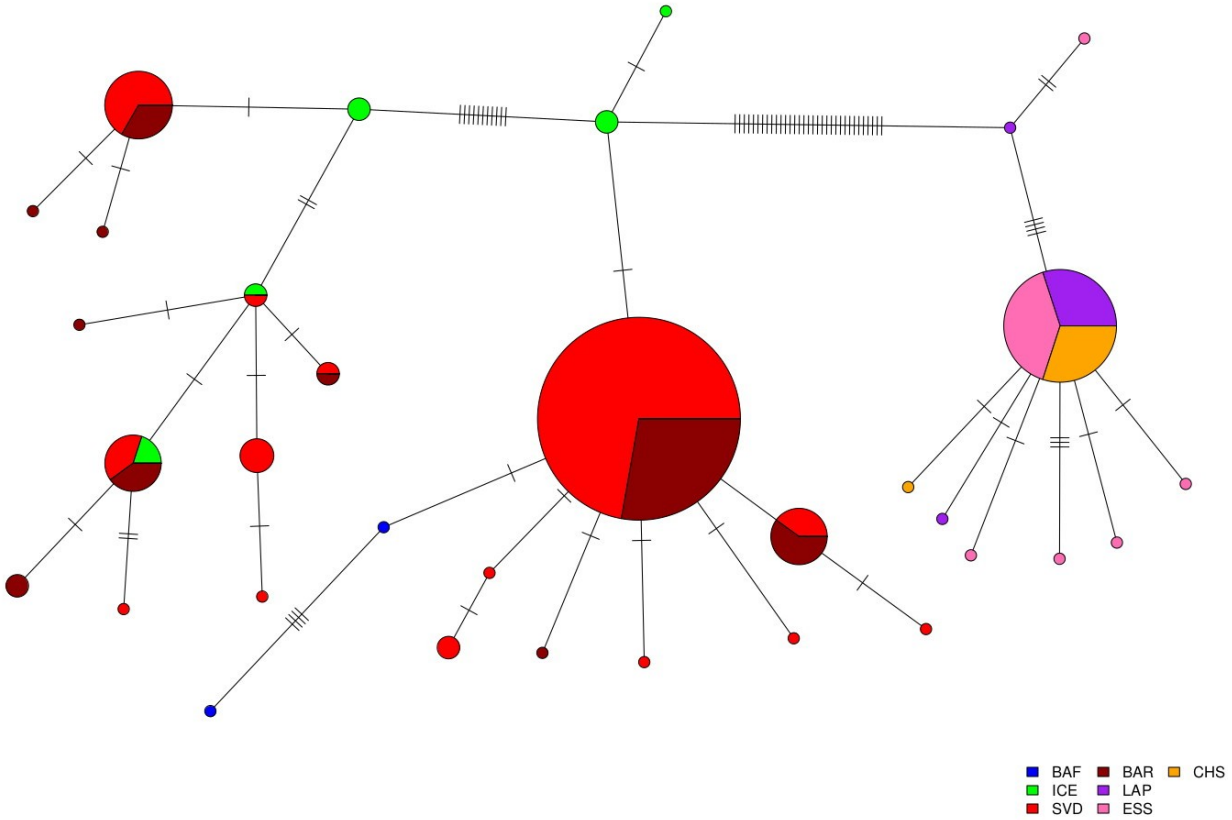


Рисунок 1. Сеть гаплотипов фрагмента гена COI змеехвостки *Ophiura sarsii*. Размеры кружков на сети пропорциональны частотам вариантов мтДНК. Насечки на длинных ветвях сети указывают количество замен.

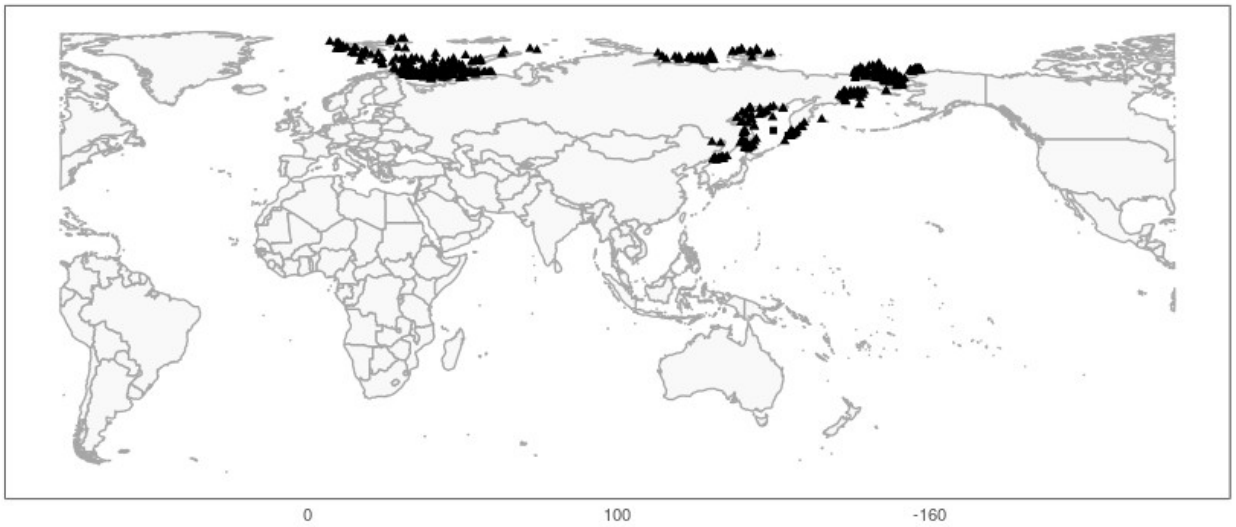


Рисунок 2. Распространение змеехвостки *Ophiura sarsii* по данным коллекции Зоологического института РАН.

РОЛЬ ПОБЕГА В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У КОЛОНИАЛЬНОГО ГИДРОИДА *DYNAMENA PUMILA* (L., 1758)

Дементьев В.С., Марфенин Н.Н.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Введение

Пульсации тела колониальных гидроидов способствуют перемещению внутриполостной жидкости (гидроплазмы), распределяющей пищу по организму. Среди беспорядочных перемещений гидроплазмы выделяются регулярные быстрые и продолжительные гидроплазматические течения (ГПТ). Мощное ГПТ начинается из побега и продолжается по столону, заходя в попутные побеги, что вызывает их ответную реакцию – исходящие ГПТ. Пульсации и ГПТ достаточно стабильны, периодичны и слабо зависят от внешних воздействий (Дементьев, Марфенин, 2018, 2019; Марфенин, Дементьев, 2018а, б). Побег состоит из множества пульсаторов: гидрантов и сегментов ценосарка ствола между ними, а также терминально расположенных верхушек роста (рис. 1).

Ни гидранты, ни участки ствола не могут поодиночке породить мощные периодичные ГПТ. Для этого у них недостаёт рабочего объёма – разницы между максимальным и минимальным объёмами при пульсациях. Однако взаимодействие пульсаторов, т.е. взаимное подстраивание гидрантов и участков ценосарка столонов и побегов, обладающих наибольшими рабочими объёмами, способно генерировать мощные ГПТ в колонии (Марфенин, Дементьев, 2017, 2019).

Целью исследования является выявление соотношения пульсаций гидрантов и ценосарка между собой. Пульсируют они неупорядоченно, синхронно или в противофазе друг к другу и что определяет ритмичность исходящих из побега ГПТ?

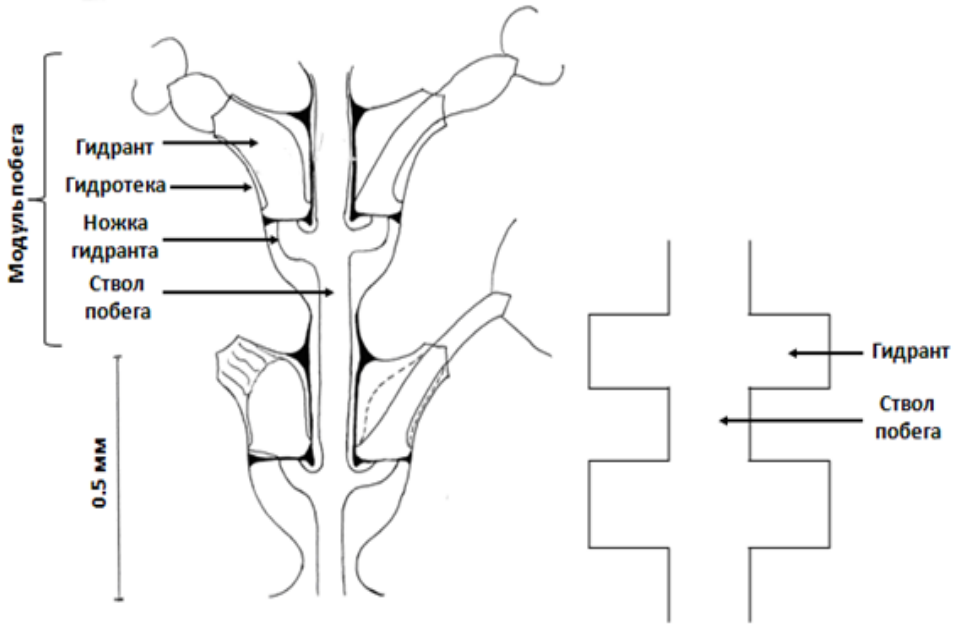


Рис.1. Участок побега *D.pumila* и схематическое его изображение (справа).

Материал и методы

Объект исследования – колониальный гидроид *Dynamena pumila* (L., 1758) (Sertulariidae, Leptothecata, Hydrozoa) – типичный обитатель нижней литорали Белого моря. Использовали разработанный нами метод цейтраферной съёмки колоний в течение 1.5-2 ч с последующим анализом количественных показателей (Marfenin, Dementyev, 2017; Марфенин, Дементьев,

2018а, б). С целью выявления ритмичности работы отдельных пульсаторов мы провели фотосъёмку под бинокуляром дистальных участков побегов, состоявших из нескольких модулей. При обработке фотоданных мы представили на схемах модули побега *D.pumila* в виде череды Т-образных фигур (рис. 1). Каждый модуль состоит из фрагмента ценосарка и пары боковых гидрантов. В фрагменте ствола условно выделяли два сегмента: между гидрантами и ниже их. Регистрировали два режима: расширение и сжатие.

Результаты

Цейтраферная видеосъёмка верхней части материнского побега под бинокуляром при малом увеличении позволила обнаружить закономерное соотношение между числом поперечно сжавшихся гидрантов и числом сегментов ствола с суженным просветом ценосарка (рис. 2). Ствол и совокупность гидрантов, находящихся на нём, пульсируют в противофазе, причём пульсации ствола намного регулярнее, чем отдельных гидрантов (рис. 3). Ствол побега расширяется (Р) и сжимается (С) более-менее одновременно на исследованном участке. Лишь порой (рис. 2: 0:09, 0:15, 0:33, 0:48, 1:06, 1:18, 1:27) можно наблюдать состояния, при которых часть ствола расширена, а другая сжата. Ценосарк, скорее всего, пульсирует как одно целое, так как фазы Р и С охватывают весь ствол (в зоне видимости). Варианты ССРРРРРР и РРССССС похожи на перистальтическую волну смены одной фазы на другую. Во всех случаях смена фаз начинается сверху побега. Обычно при расширенных желудках гидрантов мы наблюдали сжатие ствола (рис. 2: 0:00, 0:09, 0:24, 0:36, 1:00, 1:15, 1:24). И наоборот - при сжатых гидрантах просвет ценосарка ствола обычно расширен. Т.е. гидранты пульсируют в противофазе со стволом, хотя и не всегда синхронно.

Совокупность гидрантов на том же участке пульсирует не так согласованно, но всё же ритмично, если судить об этом не по отдельным зооидам, а по совокупному рабочему объёму всех восьми гидрантов в поле зрения. Каждый гидрант по отдельности пульсирует менее ритмично. В то время как одни гидранты почти синхронно сжимаются, другие не участвуют в этом. При этом между гидрантами «роли не закреплены», т.е. в группе синхронно сжавшихся могут оказаться то одни гидранты, то другие.

Согласно проведённым ранее расчётам рабочий объём участка междоузлия ствола (между двумя парами гидрантов) равен 879 980 мкм^3, а одного гидранта с ножкой – 2 179 288 мкм^3 (Марфенин, Дементьев, 2017).

Суммарный рабочий объём восьми гидрантов равен, следовательно, 17 434 304 мкм^3, в то время как совокупный рабочий объём единовременно сжавшихся гидрантов, периодически достигал значений 12-14 млн. мкм^3 и реже 16 млн. мкм^3 (рис. 3). Т.е. на долю не сжавшихся синхронно гидрантов приходится примерно 3.5-5.5 млн. мкм^3 и реже только 1.5 млн. мкм^3. Иначе говоря, при каждом акте формирования исходящего ГПТ в нём *не принимают участия* до двух гидрантов из восьми (25%).

На основании этих данных можно соотнести общий рабочий объём гидроплазмы, выходящей из сжимающихся гидрантов, с общим рабочим объёмом участка ствола. Если эти рабочие объёмы соответствуют друг другу, а ствол побега и гидранты на нём пульсируют в противофазе, то во время их пульсаций гидроплазма должна перетекать между стволом побега и гидрантами попеременно. В таком случае, вся гидроплазма должна оставаться в пределах побега и не выходить из него, т.е. исходящее из побега ГПТ не должно возникать, так как нет избытка выдавливаемой гидроплазмы из ствола (или из гидрантов).

Однако расчёты показывают, что совокупный единовременный рабочий объём пульсирующих гидрантов оказывается существенно больше, чем у ствола. Эта разница

составляет 4-6 млн. мкм^3, что примерно соответствует среднему объёму одного ГПТ, регистрируемого в столоне вблизи основания материнского побега (Марфенин, Дементьев, 2017, 2019). Следовательно, в разбираемом нами случае именно пульсации гидрантов (а не совместное сжатие гидрантов и ствола) порождают исходящее из побега магистральное ГПТ.

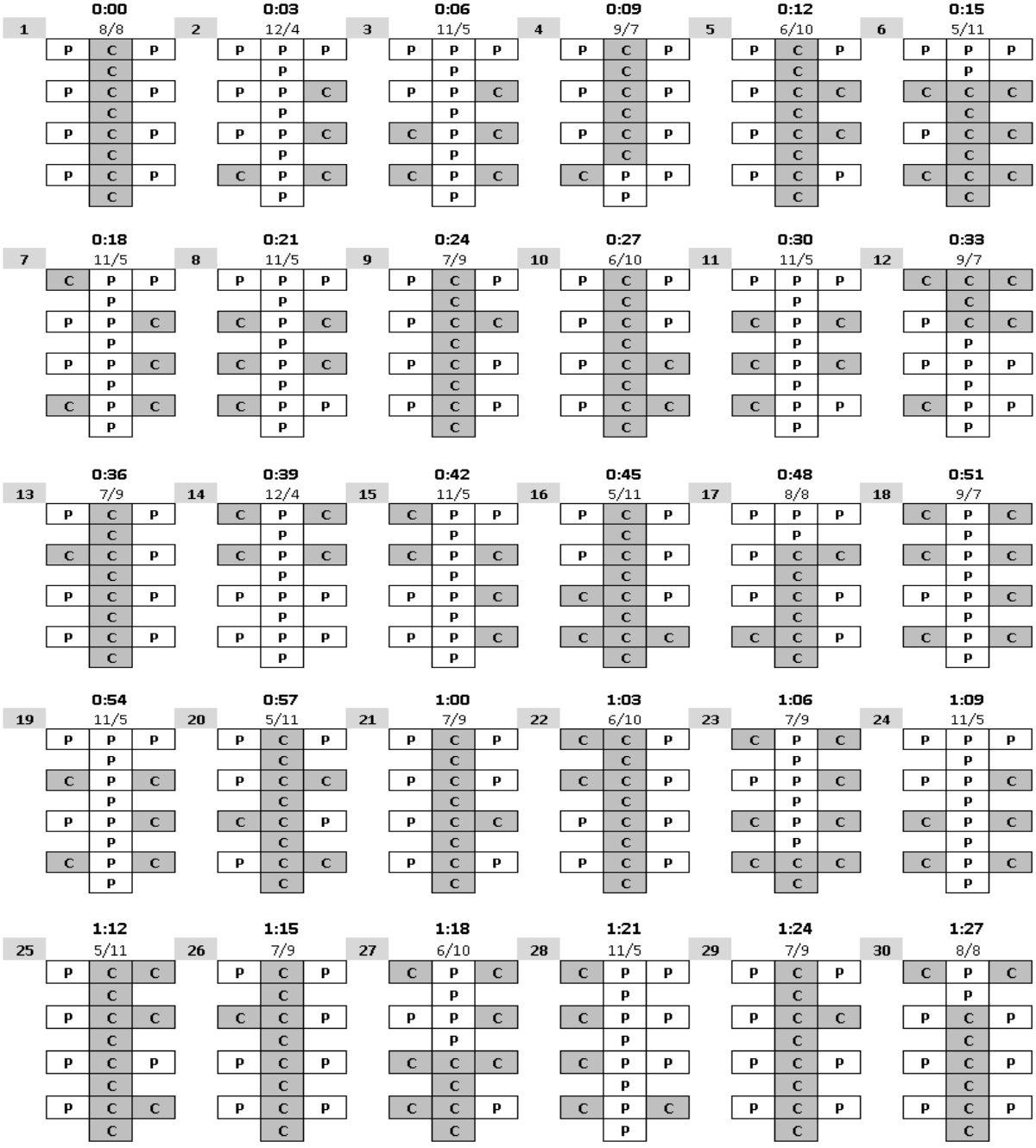


Рис. 2. Пульсации ценосарка ствола и боковых гидрантов в дистальной части побега *D.pumila*. Обозначения: Р – расширенное состояние пульсатора, С – сжатое. Через дробь - отношение фаз расширения к сжатию (Р/С). Арабскими цифрами 1-30 – номер наблюдения. Сверху – время с начала наблюдения.

Заключение

В ходе работы обнаружен важный механизм стабилизации пульсаций гидрантов. Это пульсации ствола побега, которые способны и сами по себе генерировать ГПТ, если гидранты рассосались, а при наличии гидрантов на побеге задают их ритм пульсаций. Сжатия ценосарка ствола побега синхронизируют пульсации гидрантов. Синхронизация происходит посредством перекачивания части заполняющей ствол гидроплазмы в гидранты.

После сжатия участков ценосарка одновременно расширяется несколько гидрантов. Затем и они сжимаются, перекачивая гидроплазму в другие гидранты. Совокупная ёмкость гидрантов превышает ёмкость ствола. В результате число сжавшихся пульсаторов превышает число расширенных, что приводит к выдавливанию избытка гидроплазмы (совокупного объёма гидрантов и ствола) из побега в столон. Следовательно, ГПТ возникают в результате подстраивания пульсаторов друг к другу, инициированным сжатием ценосарка ствола побега.



Рис. 3. Соотношение суммарных рабочих объёмов сжавшихся гидрантов и ценосарка ствола *D.pumila*.

Список литературы

Дементьев В.С., Марфенин Н.Н., 2018. Влияние опреснения на рост, пульсации ценосарка и перемещение гидроплазмы у колониального гидроида *Dynamena pumila* (L., 1758) // Журнал общей биологии. Т. 79. № 5. С. 376-392. DOI: 10.1134/S0044459618050044.

Дементьев В.С., Марфенин Н.Н., 2019. Воздействие температуры на рост, пульсации ценосарка и перемещение гидроплазмы у колониального гидроида *Dynamena pumila* (L., 1758) // Журнал общей биологии. Т. 80. № 1. С. 22-42. DOI: 10.1134/S0044459619010032.

Марфенин Н.Н., Дементьев В.С., 2017. Парадокс протяженных течений гидроплазмы в колониальном гидроиде *Dynamena pumila* (Linnaeus, 1758) // Журнал общей биологии. Т. 78. № 4. С. 3-20.

Марфенин Н.Н., Дементьев В.С., 2018а. Продольные пульсации столона у колониального гидроида *Dynamena pumila* (Linnaeus, 1758) // Журнал общей биологии. Т. 79. № 2. С. 85-96.

Марфенин Н.Н., Дементьев В.С., 2018б. Рост, пульсации ценосарка и перемещение гидроплазмы у колониального гидроида *Dynamena pumila* (L., 1758) в проточной и непроточной кюветах // Журнал общей биологии. Т. 79. № 2. С. 97-107.

Марфенин Н.Н., Дементьев В.С., 2019. К вопросу о протяженности гидроплазматических течений у колониального гидроида *Dynamena pumila* (L., 1758) // Журнал общей биологии. Т. 80. № 5. С. 348-363. DOI: 10.1134/S0044459619050051.

Marfenin N.N., Dementyev V.S., 2017. Functional morphology of hydrozoan stolons: stolonal growth, contractility, and hydroplasmic movement in *Gonothyraea loveni* (Allman, 1859) // Marine Biology Research. V. 13. N. 5. P. 521-537. DOI: 10.1080/17451000.2016.1276292.

РАКОВИННАЯ БОЛЕЗНЬ *ANADARA KAGOSHIMENSIS* (BIVALVIA): ПРИЧИНЫ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛЯ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ.

Птушкин Михаил Дмитриевич[1], Симакова Ульяна Вадимовна[2], Колючкина Галина Антоновна[2], Семин Виталий Леонидович[2]

[1] *Московский педагогический государственный университет*

[2] *Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва*

Введение

Двустворчатый моллюск *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) для азово-черноморского бассейна является видом вселенцем. В данный момент он полностью натурализировался в регионе вселения [Ревков, 2016] и считается промысловым видом [Милютин, Вилкова, 2006]. Паразиты и болезни этого вида в регионе вселения изучены в очень малой степени, в связи с чем исследование данных проблем является актуальной задачей [Колючкина, 2009; Хорошельцева и др. 2018; Belousova, Slynko, 2019]. Настоящее исследование направлено на выявление причин появления раковинной болезни у двустворчатых моллюсков *Anadara kagoshimensis* и распространенности этого явления в популяции.

Данные и методы

Материалом для исследования были раковины *Anadara kagoshimensis,* собранные в нескольких точках Азово-Черноморского бассейна в течение 2008 – 2020 гг. (n =777) (Рис.1).

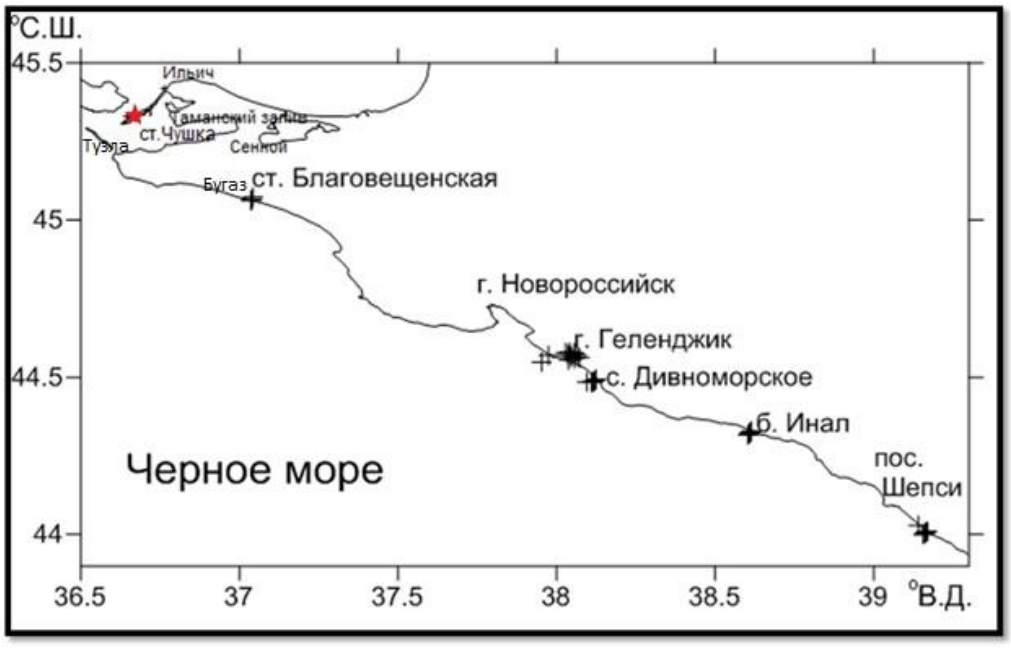


Рис. 1 Карта-схема станций сборов *Anadara kagoshimensis* 2008 – 2020 гг.

Сбор осуществлялся тотально вручную с использованием легководолазного снаряжения. Длину раковин измеряли при помощи штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Для статистической обработки использовалась программа STATISTICA 12 (StatSoftInk.) Нормальность распределения выборки производилась с помощью критерия Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка.

Результаты и обсуждение.

Было обнаружено нескольких типов деформаций створок, основными из которых являются повреждения, характерные для паразитического гриба *Ostracoblabe implexa* и полихет-перфораторов рода *Polydora* (35% и 15% от выборки соответственно) (Табл. 1, рис. 2). Также встречались вкрапления темноокрашенного материала в толще створок и деформация отпечатка мускула-замыкателя.

Таблица 1. Количество и соотношение отдельных типов деформаций раковины у *Anadara kagoshimensis* в Азово-Черноморском регионе РФ по данным настоящего анализа.

Причина деформации раковины	**Количество, шт.**	**Доля особей с данной деформацией, %**
Полихеты-перфораторы	272	35
Ostracoblabe implexa	117	15
Вкрапления темноокрашенного материала в толще створок	240	31
Деформация отпечатка мускула-замыкателя	69	9

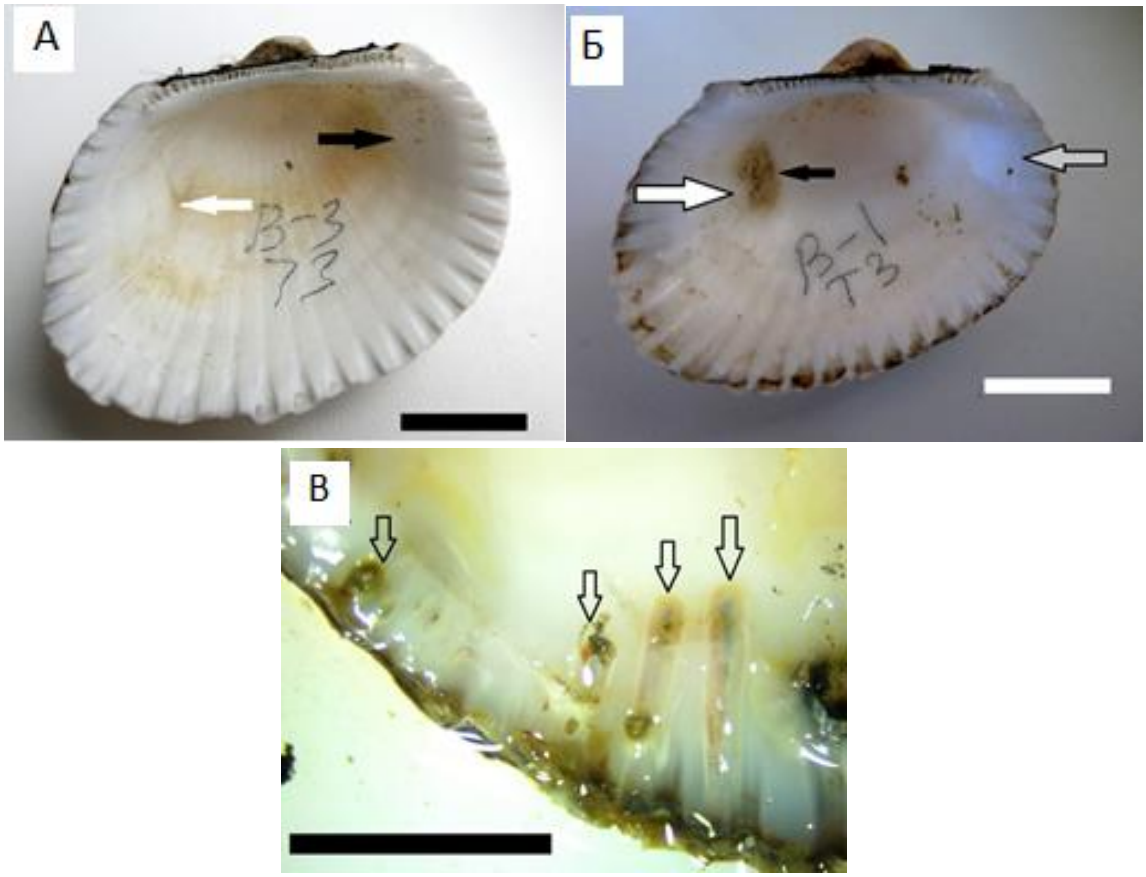


Рис 2. Створки *Anadara kagoshimensis* в норме (отпечатки заднего, белая стрелка, и переднего, черная стрелка, мускулов-замыкателей) (А), разрастания раковины, характерные при поражении моллюска паразитическим грибом *Ostracoblabe implexa* (обозначен черной стрелкой) в области заднего (белая стрелка) мускула-замыкателя, отпечаток переднего мускула-замыкателя обозначен серой стрелкой; (Б) ходы полихет-перфораторов *Polydora* sp. в задней части раковины (В).

Размерная структура моллюсков в разных районах отличалась. Наиболее крупные особи были отмечены (61 мм) на побережье Черного моря (пос. Дивноморское, бух. Инал, ст. Шепси, Бугазская коса), а в Таманском заливе и Керченском проливе размеры *Anadara kagoshimensis* не превышали 50 мм. Средние размеры *Anadara kagoshimensis* на черноморском побережье также были выше (43,5 мм), чем в керченско-таманском районе (36,4 мм).

Статистический анализ (непараметрический U-критерий Манна-Уитни для независимых выборок) всего массива данных показал, что длина раковины моллюска и наличие деформаций достоверно связаны во всех случаях кроме деформаций, вызываемых паразитическим грибом (табл. 2). Для этого типа деформаций p-значение было высоким (выше 0,05/число сравнений, равное в данном случае четырем – поправка Холма-Бонферонни для множественных сравнений, то есть p=0,0125).

Таблица 2. Значения уровня значимости (p) различий длины контрольных и деформированных раковин, оцененных с использованием непараметрического критерий U-критерий Манна-Уитни для независимых выборок.

Тип деформации	**Уровень значимости (p)**
Паразитический гриб	0,015
Полихеты-перфораторы	0,002
Вкрапления темноокрашенного материала	0,000
Неровность аддуктора	0,000

Заключение

Основными типами деформаций раковины *Anadara kagoshimensis* из Азово-Черноморского региона являлись блистеры и ходы полихет-перфораторов рода *Polydora* и разрастания внутреннего слоя раковины, характерные для паразитического гриба *Ostracoblabe implexa*. Данные деформации имеют широкую распространенность в Азово-Черноморской популяции анадар – от Керченского пролива до пос. Шепси (35% и 15%). Географическая распространённость каждого из этих типов деформаций раковин анадар различалась. Все типы деформаций отмечены у всех репрезентативных возрастных групп, и в некоторых случаях коррелирует с ее размерной структурой. Комменсалы рода *Polydora* ранее в Азово-Черноморском регионе у *Anadara kagoshimensis* до настоящего исследования отмечены не были.

Список литературы:

Revkov N.K. Colonization’s features of the Black Sea basin by recent invader Anadarakagoshimensis (Bivalvia: Arcidae)/ N. K. Revkov // Marine Biological Journal. – 2016. – Vol. 1, № 2. – P. 3-17. doi: 10.21072/mbj.2016.01.2.01

Милютин Д.М. Черноморские моллюски-вселенцы рапана и анадара: современное состояние популяций и динамика запасов / Д. М. Милютин, О. Ю. Вилкова // Рыбное хозяйство. – 2019. – Т. 4. – С. 50–53.

Колючкина Г.А. Биомаркеры воздействия загрязнений на двустворчатых моллюсков Северо-Кавказского побережья Черного моря: автореферат дис. ... кандидата биологических

наук: 03.00.18 / Колючкина Галина Антоновна; [Место защиты: Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова РАН]. – Москва, 2009. – 25 с.

Хорошельцева В.Н., Дудкин С.И., Бортников Е.С., Фроленко Л.Н. Первый случай обнаружения грегарин рода Nematopsis Schneider, 1892 у некоторых видов двустворчатых моллюсков Азовского моря//Водные биоресурсы и среда обитания. – 2018. – Т. 1. – № 1. – С. 67–71.

Belousova Y.V., Slynko Y.V. First Data on Helminths in Alien Mollusk Anadara kagoshimensis (Tokunaga, 1906) (Mollusca: Bivalvia) for the Sea of Azov–Black Sea Basin //Russian Journal of Biological Invasions. – 2019. – V. 10. – №. 1. – P. 1-4.

СТРУКТУРА МЕЙОБЕНТОСА И ПРЕДСТАВИТЕЛИ ТИПА TARDIGRADA В АКВАТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОКА САХАЛИНА

Федяева Мария Александровна[1]

[1]*Центр морских исследований МГУ им. М.В.Ломоносова*

Введение

Для Дальнего Востока вообще и для Охотского моря в частности мейобентос остается крайне малоизученным. Первые количественные и качественные сборы были проведены на литорали островов Итуруп, Уруп и Парамушир (Курильские острова) в 1967 г. благодаря участию в экспедиции Е.И. Шорникова (диатомиста и микробиолога) (Кафанов, 2007). Позже проводился мониторинг беспозвоночных (в том числе мейобентоса) в связи с изучением кормовой базы рыб в районе юга Сахалина. В 2009 году Фадеевой Н.П. и Масленниковым С.И. изучалось влияние нефтепродуктов на мейобентос. В этой работе был сделан вывод о сильном влиянии данного фактора на видовой состав нематод (Fadeeva, N. P., Maslennikov, S. I., 2009). В этой же работе была выявлена незначительная зависимость распространения родов нематод от типа грунта.

Целью данной работы было изучение таксономического состава мейобентоса на одном из участков северо-восточной акватории острова Сахалин. Помимо изучения соотношения количества и биомассы крупных таксонов была поставлена цель изучить видовой состав обитающих в данном месте тихоходок. По сравнению с соседними районами, доля представителей Tardigrada в данном месте значительна.

Абиотические факторы, такие как гранулометрический состав грунта и соленость, в этом районе однообразны, так как Охотское море свободно сообщается с Тихим океаном, а обильного стока рек в данном районе нет. Поэтому основным значительно влияющим на бентос фактором остается глубина.

Материалы и методы

Материал отбирался летом 2019 года на НИС «Геофизик» северо-восточного побережья Сахалина. Мейобентос был отобран с 25 станций. Отбор производился из ненарушенного верхнего слоя грунта, отобранного дночерпателем, при помощи трубчатого пробоотборника диаметром 2 см. Для фиксации мейозообентосных проб использовался 4% раствор формалина, нейтрализованного тетраборатом натрия.

Для экстракции организмов из проб был применен метод просеивания через серию сит с уменьшающимся размером ячеи. В данной работе был использован широко применяемый размерный ряд – 500, 250, 125, 53 и 32 мкм, соответствующий американской шкале гранулометрического состава грунта (шкала «фи» - «φ»). Перед просеиванием пробы окрашивали бенгальским розовым. Организмы подсчитывались под бинокуляром и классифицировались по таксонам. Статистические расчеты проводились при помощи пакетов программы PAST (Hammer et al., 2001).

Из проб отбирались тихоходки, которые затем помещались в жидкость Зайнхорста, где они оставались ночь при температуре 36°С. Затем изготавливались глицериновые препараты методом парафинового кольца.

Результаты

На исследованном участке преобладающей группой мейобентоса являются нематоды, на втором месте – обычны гарпактикоидные копеподы, количество которых на одной из отобранных станций сравнимо с количеством тихоходок. Нами было обнаружено два рода Tardigrada: *Tanarctus* sp. и *Bathyllipes* sp. Для первого рода было обнаружено только два представителя. Род *Bathyllipes* представлен двумя видами: *Batillipes orientalis* и *B. mirus*.

Таксономический состав мейобентоса

В районе исследований в общей сложности было отмечено 7 крупных таксонов многоклеточного мейобентоса: Nematoda, Harpacricoida, Kinorhyncha, Tardigrada, Ostracoda, Polychaeta, Bivalvia, Turbellaria, Amphypoda и Gastropoda. В среднем на станцию приходилось по три таксона, двумя из которых как правило являлись Nematoda и Harpacticoida. Появление представителей остальных таксонов эумейобентоса оставалось единичным. В пробах часто наблюдалось относительно большое количество ювенилей полихет. Это может быть связано со временем сбора в теплый период времени (август).

На всех станциях исследованного участка доминирующей группой выступают свободноживущие нематоды. Там на их долю приходится от 57,4 до 100% от общей численности многоклеточного мейобентоса. Субдоминантой выступают гарпактикоидные копеподы – 0–21,2% от общей численности мейобентоса. Чуть меньшим оказалось количество тихоходок – их доля варьирует от 0 до 19,1%. Максимальный процент наблюдался только на одной станции. На остальных доля тихоходок варьировала от 0,15 до 1,9 % (рис. 1).

Общая численность мейобентоса на участке изменяется в пределах 47–1039 экз./10 см^2. Численность нематод варьирует от 27 до 1018 экз./10 см^2, численность гарпактикоидных копепод – от 1 до 147 экз./10 см^2.

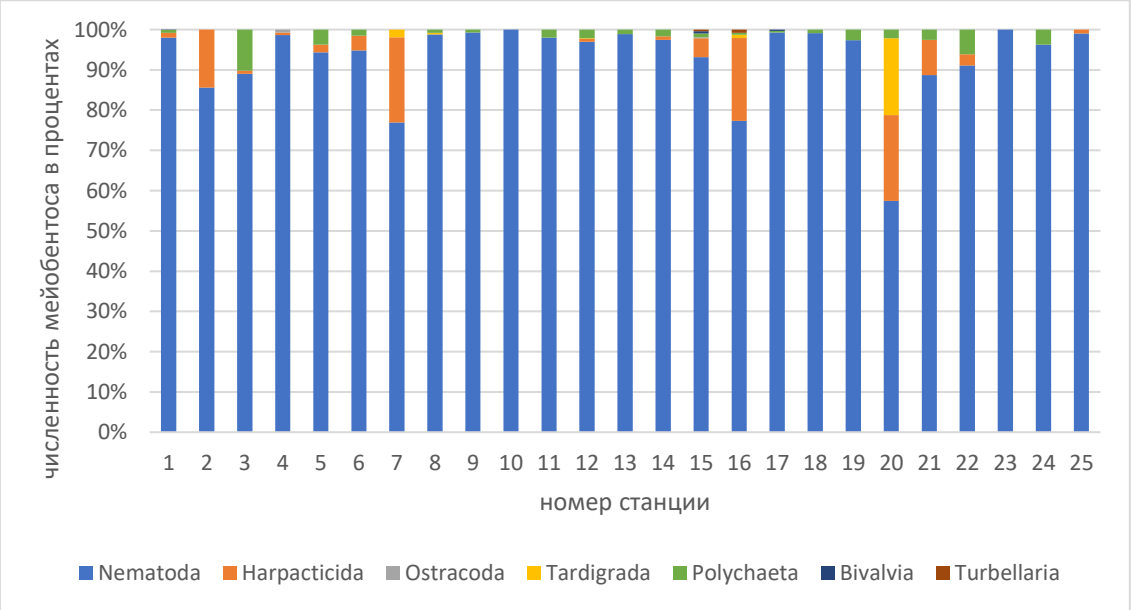


Рис. 1: процентное соотношение численности представителей крупных таксонов на станциях.

Зависимость количества мейобентоса от глубины прослежена не была. На рисунке 2 показана схожесть станций, где синим цветом окрашены мелководные (до 60 м) станции, а розовым – глубоководные (от 60 до 330 м). На глубинных станциях численность мейобентоса сильно варьирует, однако нередко остается высокой. С другой

стороны, численность мейобентоса на более мелководных станциях тоже сильно варьировала вплоть до того, что максимум и минимум численности нематод (1018 и 27 экз./10 см^2 соответственно) приходится на пробы, взятые на глубине 20-30 м. Это может объясняться мозаичным распределением мейобентоса и отсутствием абиотических факторов, влияющих на распределение.

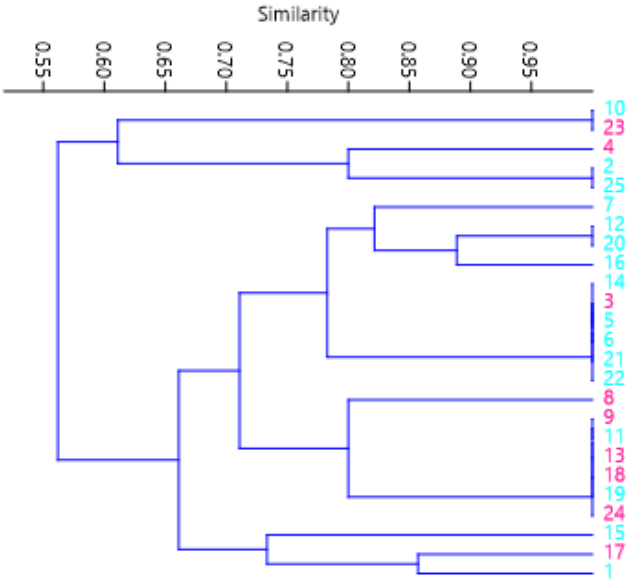


Рис. 2: Дендрограмма сходства таксономического состава на станциях. Голубым обозначены станции на глубине до 60 м, розовым – глубже 60 м. В качестве меры сходства был использован индекс Дайса.

Видовой состав представителей типа Tardigrada

В исследуемом районе было найдено три вида тихоходок: *Tanarctus* sp., *Batillipes orientalis* и *B. mirus*. Определение видов *Batillipes* осуществлялось по определителю, данному в статье Сантоса с соавторами (Santos et al., 2018). Основными определительными признаками для рода *Batillipes* являются наличие или отсутствие каудальных отростков, наличие крыловидных отростков между определенными парами ног, форма клавы, длина пальцев и форма дисков на пальцах. Определение *B. orientalis* не вызывает сомнений. Этот вид несет цельную клаву, не имеет каудального отростка, а между третьей и четвертой парой ног у них присутствуют хорошо заметные крыловидные отростки (рис. 3). *B. mirus* имеет каудальный отросток, не имеет крыловидных отростков, имеет проекции между третьей и четвертой ногами и также несет неразделенную клаву (Chang, Rho, 1997) (рис. 4 А-В). Данный вид похож на *B. caudatus*, обладающий теми же признаками, но гораздо меньшими размерами, меньшим размером дисков на пальцах и отсутствием боковых проекций (Santos et al., 2018). *Tanarctus* sp. был найден в двух экземплярах и определялся только до рода (рис. 4 Г-Е).

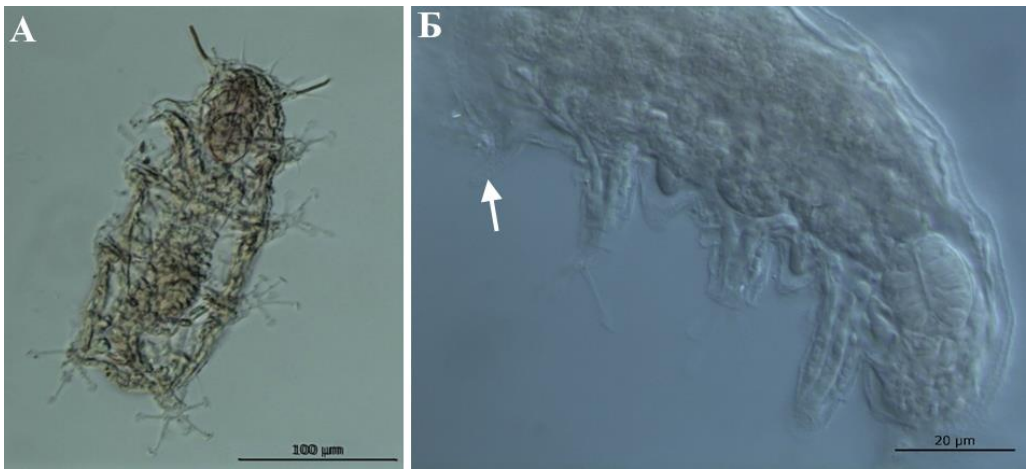


Рис. 3: *Batillipes orientalis*. А – общий вид, Б – брюшная сторона с латеральными проекциями и крыловидными отростками между третьей и четвертой ногой (обозначена белой стрелкой). Увеличение: А – х20, Б – х100.

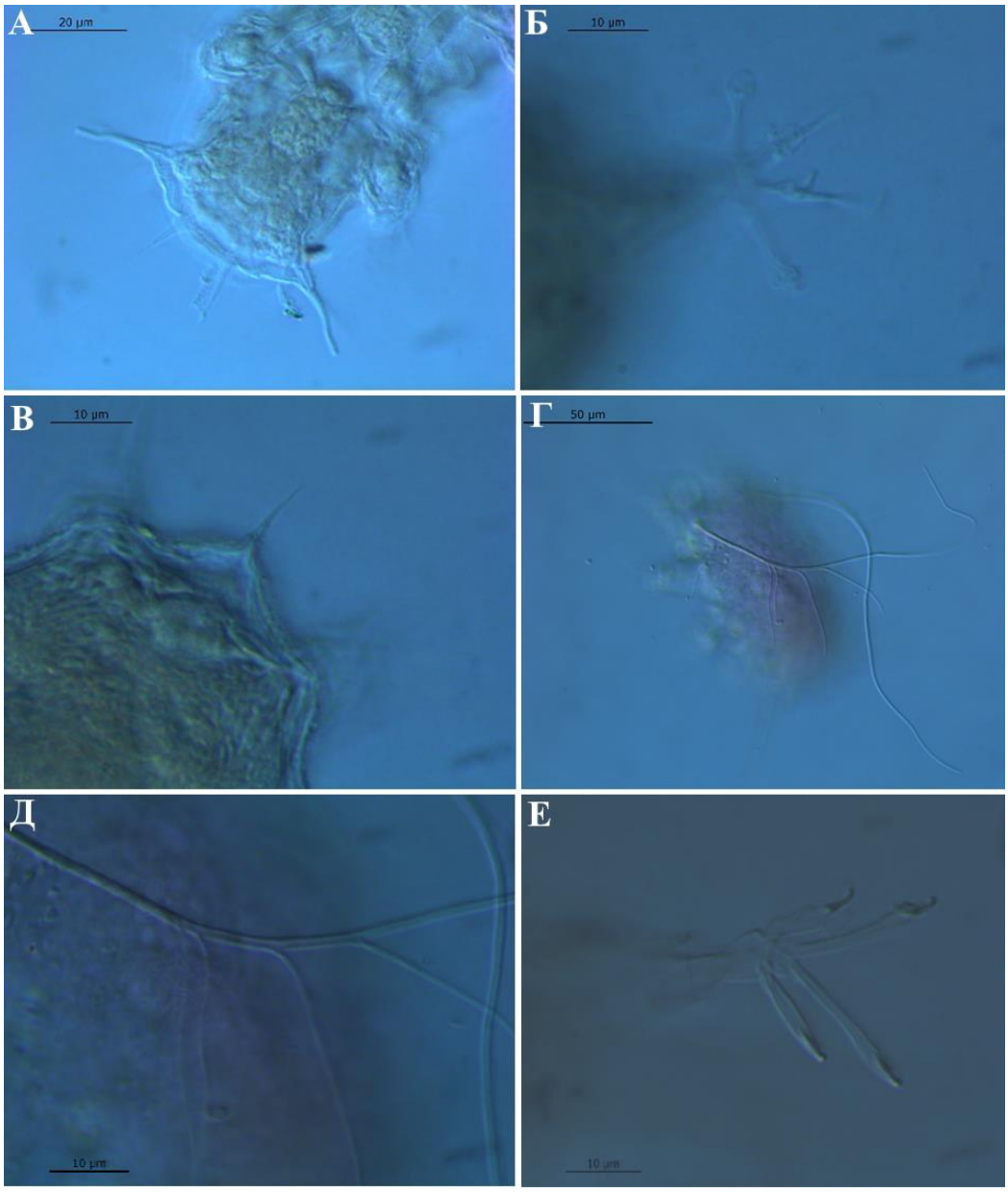


Рис. 4: А-В – *Batillipes mirus*, Г-Е – *Tanarctus* sp. А – передняя часть тела *B. mirus*; Б – четвертая нога *B. mirus*. Видны все шесть пальцев; В – каудальный отросток *B. mirus*; Г – общий вид *Tanarctus* sp.; Д – отросток IV ноги *Tanarctus* sp.; Е – нога IV *Tanarctus* sp., видны четыре пальца с когтями. Увеличение: А – х100; Б, В, Е – х100х1,6; Г – х40; Д – х100х1,25.

Благодарности

Автор выражает благодарность д.б.н., проф. Чесунову Алексей Валерьевичу за помощь с определением тихоходок, а также экипажу НИС «Геофизик», в частности Старкову А. И. и Шалапутину Н. В. за сбор материала и обеспечение технической части работы.

Список литературы:

Chang C. Y., Rho H. S. Two new marine tardigrades of genus *Batillipes* (Heterotardigrada: Batillipedidae) from Korea // Korean Journal of Systematic Zoology. – 1997 – Т. 13. – С. 93-102.

Fadeeva N. P., Maslennikov S. I. The abundance and distribution of free-living marine nematodes of the Piltun-Astokhskoye oil and gas field (North-East Sakhalin) // Russian Journal of Nematology. – 2009. – Т. 17. – №. 1. – С. 31-42.

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontol Electron. – 2001. –Vol. 4, –P. 1-9.

Santos E., Rubal M., Veiga P., da Rocha C. M., Fontoura P. Batillipes (Tardigrada, Arthrotardigrada) from the Portuguese coast with the description of two new species and a new dichotomous key for all species // European Journal of Taxonomy, - 2018 – Т. 425. – С. 1-32.

Кафанов А. И. Морские биологические исследования Российской академии наук в северной части Тихого океана (до начала XX в.) // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2007. – №. 3. – С. 137-142.

ГИБРИДИЗАЦИЯ ДВУХ БЛИЗКОРОДСТВЕННЫХ ВИДОВ *CHIRONOMUS* ГРУППЫ *PLUMOSUS* В ПРИБРЕЖНОЙ ЛАГУНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ (КУРШСКИЙ ЗАЛИВ)

Маркиянова Марина Федоровна
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Введение

Хирономиды – это широко распространенное семейство длинноусых двукрылых гетеротопных насекомых с голометаморфозом, процветающее в современных условиях, благодаря широкой экологической валентности.

Наличие политенных хромосом в слюнных железах личинок хирономид с высоко видоспецифичным рисунком дисков позволяет использовать кариологический анализ для решения вопросов таксономии и филогении данной группы. В структуре семейства Chironomidae, в частности рода *Chironomus* Meigen, 1803, были выявлены группы близкородственных видов (видов-двойников), которые часто обитают симпатрично и синтопично. Было показано, что большую роль в видообразовании этого рода сыграли фиксированные инверсии, транслокации и изменения массы центромерного гетерохроматина (Kiknadze et. al., 2016). Изучение возможной роли гибридизации в дивергенции видов рода *Chironomus* находится на начальных этапах, что обусловлено не достаточным количеством данных о межвидовых гибридах и их местообитаниях.

Цель работы: изучить кариотип межвидового гибрида *Ch. muratensis* x *Ch. plumosus* и условия его местообитания.

Материал и методы

Пробы отбирали в открытой части центрального и северного районов Куршского залива, в 2008 и 2009 гг. Личинок фиксировали на месте сбора смесью 96 % этилового спирта и ледяной уксусной кислоты (3:1). Определение личинок *Chironomus* группы *plumosus* проводили с использованием кариологического метода. Давленые препараты политенных хромосом из слюнных желез готовили по этил-орсеиновой методике (Демин, Шобанов, 1990). Установление последовательностей дисков хромосомных плеч видов проводили по системе Максимовой (1976) с использованием стандартных цитофотокарт (Кикнадзе и др., 1991; Kiknadze et al., 2016). При обозначении последовательностей дисков хромосом указывали сокращенное латинское название вида (plu, bal, mur), прописной буквой символ плеча (A, B, C …) и номер последовательности дисков; префиксом обозначали географическое распространение последовательности дисков: p' – в Палеарктике, h' – в Голарктике (Голыгина, Кикнадзе, 2001).

Результаты и обсуждение

Межвидовой гибрид F1 *Ch. muratensis* x *Ch. plumosus* обнаружен в центральном районе Куршского залива. Все хромосомы по морфологии сходны с хромосомами родительских видов (Рисунок). Гомологи хромосомы I расконъюгированы и представлены следующими родительскими последовательностями дисков: p'murA1–h'murB1 и h'pluA1–p'pluB2. Последовательности p'pluB2 и h'murB1 идентичны, одно кольцо Бальбиани расположено в 16 отделе. Гомологи хромосомы II расконъюгированы и состоят из следующих последовательностей родительских видов: p'murC1–p'murD1 и p'pluC1–p'pluD1. В 16 районе последовательности p'murC1 присутствует характерное для данного вида ядрышко. Гомологи хромосомы III частично конъюгированы в 16–17 районах плеча F. Они

представлены: h'murE1–h'murF1 и h'pluE1–h'pluF1. Гомологи хромосомы IV расконъюгированы, имеют следующие родительские последовательности: h'pluG1 и p'murG1. Расположение, число ядрышек и колец Бальбиани типично для каждого из родительских видов.

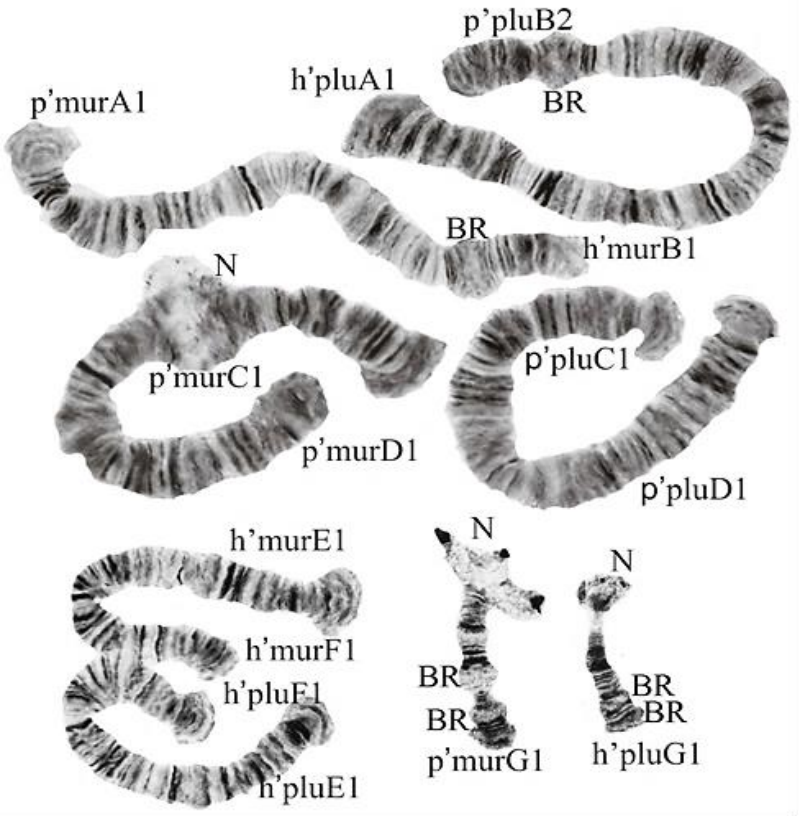


Рис. Кариотип *Ch. muratensis* x *Ch. plumosus*. N – ядрышко. BR – кольцо Бальбиани

В исследованном материале присутствовали самка и самец гибрида *Ch. muratensis* x *Ch. plumosus*. Личинки находились на 3–4 стадии IV возраста.

Гибриды *Ch. muratensis* x *Ch. plumosus* обитают в заливе локально – на небольшом участке северного района, наиболее удаленного от Клайпедского пролива. Соленость здесь значительно изменяется по сезонам, достигая максимальных значений осенью (среднее многолетнее значение солености – 1.89 ‰) и минимальных весной из-за стока реки Неман (0.54 ‰) (Dailidienė, Davulienė, 2007). Куршский залив – это эстуарная экосистема, хорогалинная зона которой представляет собой экотон между пресноводной и морской экосистемами. В подобном местообитании, в экотоне, также был найден гибридные личинки *Ch. muratensis* x *Ch. plumosus*, но в Рыбинском водохранилище, в устьевой зоне р. Сёбла (Большаков, 2013).

В 2008–2009 гг. в северном и центральном районах Куршского залива доминировал один из родительских видов – *Ch. plumosus* с частотой встречаемости 62 %, при этом частота гибрида *Ch. muratensis* x *Ch. plumosus* составляла 3%, это выше встречаемости другого родительского вида *Ch. muratensis*, частота которого была всего 1%. Кроме этого личинки гибрида и *Ch. muratensis* обитают в разных районах залива: гибрид – в северном (район пос. Юодкранте, Литва), а *Ch. muratensis* – в центральном (Маркиянова, 2018).

Согласно концепции «пограничного превосходства гибридов» (bounded hybrid superiority) (Moore, Buchanan 1985; Крюков, 2000), именно в переходных зонах, экотонах, гибриды могут иметь более высокую приспособленность по сравнению с одним или обоими

родительскими видами. Вероятно, гибриды *Ch. muratensis* x *Ch. plumosus* способны более успешно выживать в специфических условиях переходных зон (экотонов) по сравнению с *Ch. muratensis*.

Таким образом, гибридизация между *Ch. plumosus* и *Ch. muratensis* происходит на изолированных участках зоны симпатрии (случайная локализованная симпатрическая гибридизация), которые представляют собой переходные зон (экотоны) в специфических условиях которых, гибриды *Ch. muratensis* x *Ch. plumosus* имеют преимущество перед родительскими видами (концепция «пограничного превосходства гибридов»).

Благодарность

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013)

Список литературы

Большаков В.В. Адаптивная роль хромосомных инверсий у личинок рода Chironomus (Diptera, Chironomidae): автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук: 03.02.08. Борок. – 2013. – 25 с.

Голыгина В.В., Кикнадзе И.И. Кариофонд вида Chironomus plumosus (Diptera, Chironomidae) в Палеарктике // Цитология. – 2001. – Т. 43. – №5. С. 507–519.

Демин С.Ю., Шобанов Н.А. Кариотип комара *Chironomus entis* из группы plumosus в европейской части СССР // Цитология. – 1990. – Т. 32. – № 10. – С. 1046–1054

Кикнадзе И.И. Шилова А.И., Керкис И.Е. и др. Кариотипы и морфология личинок трибы Chironomini. Атлас. Новосибирск: Наука. Сиб. отд. – 1991. – 115 с.

Крюков А.П. Гибридные зоны животных: эволюционные и генетические аспекты: автореферат дисс. на соиск. уч. степ. докт. биол. наук: 03.00.08. Владивосток. – 2000. – 49 с.

Максимова Ф.Л. К вопросу о кариотипе Chironomus plumosus L. усть-ижорской популяции Ленинградской области // Цитология. – 1976. – Т. 18. – № 10. – С. 1264–1269.

Маркиянова М.Ф. Видовой состав и распространение видов-двойников рода *Chironomus* Meigen (Diptera, Chironomidae) в Куршском и Вислинском заливах Балтийского моря // Океанология. – 2018. – Том 58. – № 5. – С. 774–780

Dailidienė, I., Davulienė, L. Long-term mean salinity in the Curonian Lagoon in 1993–2005 // Acta Zool. Lituanica. – 2007. – Vol. 17. – № 2. – P. 172–181.

Kiknadze I., Istomina A., Golygina V., Gunderina L. Karyotypes of Palearctic and Holarctic species of the genus Chironomus // Novosibirsk: Academic Publishing House «GEO». – 2016.

Moore W.S., Buchanan D.B. Stability of the Northern Flicker hybrid zone in historical times: implications for adaptive speciation theory // Evolution. – 1985. – Vol. 39(1). – P. 135–151.

ИЗВЕСТКОВЫЕ ГУБКИ БЕЛОГО МОРЯ (CALCAREA, PORIFERA): МЕХАНИЗМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗ ДИССОЦИИРОВАННЫХ КЛЕТОК

Фролова Вероника Сергеевна[1, 2], Скоренцева Ксения Витальевна[3], Ересковский Александр Вадимович[1,2,4], Лавров Андрей Игоревич[2,3,5]

[1] *Институт биологии развития имени Н.К. Кольцова РАН, Москва, Россия*

[2] *Санкт-Петербургский государственный университет*

[3] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

[4] *Средиземноморский Институт экологии и биоразнообразия, Марсель, Франция*

Введение

Губки (Porifera) являются наиболее древними из живущих ныне многоклеточных животных. Постоянно меняющиеся гидродинамические условия окружающей среды – причина непрерывных перестроек водоносной системы, посредством которой у этих организмов осуществляется питание и газообмен (Ereskovsky, 2010; Leys, Hill, 2012). Возможность таких перестроек – результат высокой пластичности и мобильности клеточных структур представителей типа Porifera.

Одной из форм такой пластичности является способность губок к реагрегации – развитию из диссоциированных клеток. Впервые этот процесс был описан Уилсоном в 1907 году (Wilson, 1907), что стало отправной точкой для будущих многочисленных исследований. Результатом реагрегации является образование многоклеточных агрегатов и примморфов разнообразного строения, а в некоторых случаях – полное восстановление функциональной губки (Wilson, 1907; Короткова, 1972; Ereskovsky et. al., 2016; Lavrov, Kosevich, 2014, 2016). На протяжении всего процесса реагрегации клетки постоянно мигрируют и находятся в процессах дедифференцировки и трансдифференцировки (Ефремова, 1969, 1972; Короткова, 1972; Lavrov, Kosevich, 2016).

Исследование процесса реагрегации в лабораторных условиях позволяет следить за преобразованиями клеточных типов, межклеточными взаимодействиями и формированием различных анатомических структур при прогрессивном развитии агрегатов и примморфов. Однако большая часть исследований подобного характера проведена на представителях класса Demospongiae, у которых основу тела представляет мезохил, который можно рассматривать как аналог тканей внутренней среды у высших многоклеточных. В противоположность им, у представителей класса Calcarea основу тела составляют пинакодермы и хоанодерма, являющиеся аналогами эпителиальных тканей высших Eumetazoa.

Целью данного исследования был анализ клеточных механизмов, задействованных в прогрессивном развитии примморфов у двух беломорских представителей класса Calcarea: *Leucosolenia* cf. *variabilis* и *Sycon* sp.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны два представителя класса Calcarea: *Leucosolenia* cf. *variabilis* Haeckel, 1870 (пкл. Calcaronea, отр. Leucosolenida) и *Sycon* sp. Risso, 1827 (пкл. Calcaronea, отр. Leucosolenida).

Сбор образцов губок и эксперименты по реагрегации проводились на базе Беломорской биостанции им. Н.А. Перцова. Культуры клеток губок были получены при помощи механического метода диссоциации и помещены в фильтрованную морскую воду. Каждый

день проводилась фотосъемка культур для прижизненного описания развития и морфологии многоклеточных агрегатов.

Подробное изучение строения основных стадий реагрегации губок, осуществлялось при помощи световой, трансмиссионной электронной и сканирующей микроскопии. Каждые 24 – 48 часов из культур выбирались агрегаты для фиксации 2,5% глутаровым альдегидом с последующей постфиксацией 1% раствором тетраоксида осмия.

Отслеживание формирующихся в процессе реагрегации спикул осуществляли при помощи помещения отдельных агрегатов в раствор динатриевой соли кальцеина с концентрацией 100 мг/л.

Отслеживание количества пролиферирующих клеток осуществлялось благодаря инкубации агрегатов в растворе 40 мкМ 5-этинил-2'-дезоксиуридина (EdU) с последующей фиксацией в 4% параформальдегиде. В дополнение было проведено окрашивание агрегатов антителами к ацетилированному α-тубулину (маркер жгутиков хоаноцитов) и фосфогистону H3 (маркер клеток, делящихся митозом). Образцы, полученные в результате иммуноцитохимического исследования, изучались при помощи лазерного сканирующего конфокального микроскопа.

Результаты и обсуждение

Динамика реагрегации

Через 24 часа после диссоциации (далее чпд) в культурах *Leucosolenia* cf. *variabilis* и *Sycon* sp. наблюдалось формирование первичных многоклеточных агрегатов. Такие агрегаты имели разнообразные формы, крайне неровную поверхность и зачастую имели на своей поверхности пузыри. В составе первичных многоклеточных агрегатов можно выделить два типа клеток: ядрышковые амебоциты и хоаноциты. Мы предполагаем, что все остальные типы клеток претерпевают дедифференцировку после процесса диссоциации тканей и становятся неотличимы от амебоцитов.

Постепенно поверхность таких агрегатов становилась более сглаженной, что обусловлено формированием экзопинакоцитов на поверхности. С началом формирования экзопинакоцитов наступает вторая стадия реагрегации – стадия ранних примморфов. Так как у изученных нами видов в первичных многоклеточных агрегатах мы не идентифицировали экзопинакоциты, мы полагаем, что эти клетки возникают в результате трансдифференцировок хоаноцитов и амебоцитов.

Через некоторое время после того, как первичные многоклеточные агрегаты сформировались и перешли на стадию ранних примморфов, начинается их прогрессивное развитие. Постепенно поверхность примморфов *Leucosolenia* cf. *variabilis* полностью покрывается экзопинакоцитами (стадия настоящих примморфов); завершение эпителизации можно наблюдать уже к 15 суткам после диссоциации (далее – спд), однако есть различия между экзопинакоцитами в примморфах и экзопинакоцитами интактных тканей: у первых их форма уплощённая, тогда как у вторых – Т-образная.

Результаты иммуноцитохимического исследования подтвердили, что хоаноциты действительно способны сохраняться в процессе реагрегации известковых губок. В первичных многоклеточных агрегатах хоаноциты аккумулированы в основном в поверхностных слоях и их количество значительно выше, чем в ранних примморфах. Мы полагаем, что это связано с дедифференцировкой и трансдифференцировкой хоаноцитов.

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

В культурах *Sycon* sp. процесс реагрегации протекал более интенсивно: к 3 спд поверхность некоторых агрегатов полностью покрывалась экзопинакоцитами и уже начинали формироваться хоаноцитные полости. Под формирующимся слоем экзопинакодермы образовывалась прослойка фибриллярного внеклеточного матрикса, вероятно, коллагена. К 30 спд нами было обнаружено формирование обширной полости внутри агрегата, которая, вероятно, является презумптивной атриальной полостью.

Исследования по спикулогенезу показали, что на 7 спд у *Sycon* sp. и на 10 спд у *Leucosolenia* cf. *variabilis* начинают формироваться первые триактины. На 16-17 спд у *Sycon* sp. обнаруживаются первые диактины, а формирование диактин у *Leucosolenia* cf. *variabilis* мы не наблюдали.

Ранее мы упоминали, что у губок можно обнаружить группы клеток, морфологически и функционально напоминающие эпителиальные ткани и ткани внутренней среды высших многоклеточных животных. Эпителиальным тканям высших многоклеточных животных соответствуют пинакодермы и хоанодерма, а тканям внутренней среды – совокупность клеток мезохила. При трансдифференцировке амебоцитов в хоаноциты, экзо- и эндопинакоциты у Demospongiae описано явление аналогичное тому, что у высших многоклеточных называется мезенхимально-эпителиальным переходом (далее – МЭП) (Ereskovsky et al., 2020). Так как у известковых губок некоторые ядрышковые амебоциты способны трансдифференцироваться в хоаноциты и пинакоциты, то в процессе реагрегации Calcarea также можно выделить процесс, аналогичный МЭП высших многоклеточных животных.

Пролиферативная активность клеток при реагрегации

Нами было проведено иммуноцитохимическое исследование пролиферативной активности клеток в процессе реагрегации на стадиях 24 – 240 чпд. Было установлено, что клетки в развивающихся агрегатах способны синтезировать ДНК и делиться митозом. Пролиферация клеток не играет важной роли в процессе реагрегации у *Leucosolenia* cf. *variabilis*, тогда как у *Sycon* sp. пролиферация клеток, вероятно, является одним из ключевых механизмов при прогрессивном развитии примморфов. Так, мы практически не наблюдали пролиферирующих клеток у *Leucosolenia* cf. *variabilis* как в первичных многоклеточных агрегатах, так и в примморфах. У *Sycon* sp. была замечена тенденция к возрастанию количества пролиферирующих клеток от 1 спд к 10 спд. Вероятно, увеличение количества пролиферирующих клеток – причина, по которой примморфы *Sycon* sp. достигают стадии прогрессивного развития быстрее, чем примморфы *Leucosolenia* cf. *variabilis*.

Заключение

Несмотря на то, что впервые процесс реагрегации губок был описан более 100 лет назад, исследователи обнаруживают новые аспекты этого явления по сей день. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что в процессе реагрегации губок участвуют по крайней мере три клеточных механизма: активная дедифференцировка клеток при попадании клеток в суспензию и формировании первичных многоклеточных агрегатов; трансдифференцировка хоаноцитов и амебоцитов при преобразовании агрегатов в

примморфы и в процессе прогрессивного развития примморфов; гибель клеток, в результате которой начинает формироваться система водоносных каналов.

В случае с *Leucosolenia* cf. *variabilis* реагрегация не сопровождается активной пролиферацией клеток в формирующихся агрегатах и примморфах, и весь процесс восстановления из диссоциированных клеток происходит благодаря миграциям клеток и их де- и трансдифференцировкам. В реагрегации *Sycon* sp. важную роль также играют миграции клеток, их де- и трансдифференцировки, а начало прогрессивного развития сопровождается активной пролиферацией клеток. Возможно, именно благодаря высокой пролиферативной активности клеток происходит увеличение клеточной массы у агрегатов и примморфов *Sycon* sp., что способствует их более активному развитию по сравнению с агрегатами и примморфами *Leucosolenia* cf. *variabilis*.

Благодарности

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

Список литературы

Ефремова С.М. Морфологический анализ развития губки Ephydatia fluviatilis из диссоциированных клеток // Вестник ЛГУ. – 1969. – № 9. – С. 39-53.

Ефремова С.М. Морфофизиологический анализ развития пресноводных губок *Ephydatia fluviatilis* и *Spongilla lacustris* из диссоциированных клеток // Бесполое размножение, соматический эмбриогенез и регенерация / Отв. ред. Б.П. Токин. Л.: Изд-во ЛГУ. – 1972. – С. 110-154.

Короткова Г.П. Сравнительно-морфологические исследования развития губок из диссоциированных клеток // Бесполое размножение, соматический эмбриогенез и регенерация / Отв. ред. Б.П. Токин. Л.: Изд-во ЛГУ. – 1972. – С. 74-109.

Ereskovsky A.V. Comparative Embryology of Sponges. Springer Netherlands. – 2010.

Ereskovsky A.V., Chernogor L.I., Belikov S.I. Ultrastructural description of development and cell composition of primmorphs in the endemic Baikal sponge *Lubomirskia baicalensis*// Zoomorphology. – 2016. – V. 135. – № 1. – P. 1-17.

Ereskovsky A.V., Tokina D.B., Saidov D.M., Baghdiguian S., Le Goff E., Lavrov A.I. Transdifferentiation and mesenchymal-to-epithelial transition during regeneration in Demospongiae (Porifera)// J. Exp. Zool. Part B. – 2020. – V. 334. P. 37-58.

Lavrov A.I., Kosevich I.A. Sponge cell Reaggregation: Mechanisms and Dynamics of the Process // Rus. J. of Dev. Biol. – 2014. – V. 45. – № 4. – P. 205-223.

Lavrov A.I., Kosevich I.A. Sponge cell reaggregation: Cellular structure and morphogenetic potencies of multicellular aggregates// J. Exp. Zool. Part A. – 2016. – V. 325. – № 2. – P. 158-177.

Leys S.P., Hill A. The physiology and molecular biology of sponge tissues// Adv. Mar. Biol. – 2012. – V. 62. – P. 1-56.

Wilson H.V. On some phenomena of coalescence and regeneration in sponges // J. Exp. Zool. – 1907. – V. 5. – № 2. – P. 245-258.

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ТРЕНДЫ В РАЗВИТИИ ПЛАНКТОТРОФНЫХ И ЛЕЦИТОТРОФНЫХ ЛИЧИНОК ПОЛИХЕТ

Козин Виталий Владиславович[1], Римская-Корсакова Надежда Николаевна[2], Храмова Юлия Владимировна[2], Костюченко Роман Петрович[1]

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

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

Начальные этапы развития беспозвоночных обладают высоким адаптивным потенциалом, который выражен в продолжительности развития, источнике питательных ресурсов и пластичностью к выбору субстрата. Первичные планктонные личинки с ресничной локомоцией признаются эволюционно древней чертой всех Metazoa. Эти формы выполняют важную расселительную функцию и тем самым определяют успех воспроизводства популяции, особенно у малоподвижных животных. Для аннелид характерно потрясающее разнообразие личиночных форм, обусловленное временными различиями (гетерохронными сдвигами) в развитии отдельных органов и их систем. Для выявления эволюционных трендов мы сравним начальные этапы жизненных циклов у беломорских кольчатых червей из разных филогенетических групп: *Alitta virens* (Nereididae) из клады Errantia и *Ophelia limacina* (Opheliidae) из клады Sedentaria, которые являются перспективными моделями биологии развития.

У офелиид встречаются виды как с питающейся (планктотрофной), так и с наполненной желтком непитающейся (лецитотрофной) личинкой, однако детальные описания их эмбриогенеза пока отсутствуют. У *O. limacina* мы наблюдали гомоквадрантное спиральное дробление, приводящее к формированию целобластулы (однослойного шарообразного зародыша с полостью). Макромеры лишь немного превосходят по размерам свои сестринские клетки-микромеры. Во время синхронного дробления макромеров последовательно выделяется пять квартетов микромеров, после чего радиальная симметрия утрачивается из-за опережающих делений клеток квадранта D. К концу первых суток развития происходит эпителизация, начинается гаструляция и дифференцировка личиночных органов (рис. 1).

В процессе формирования зародышевых листков (гаструляции) доминируют инвагинационные движения. Клетки вегетативного полушария (макромеры и микромеры 4 и 5 квартетов) вытягиваются вдоль анимально-вегетативной оси, постепенно вытесняя бластоцель к анимальному полюсу (рис. 1A-D). При этом вегетативная пластинка прогибается, ее клетки приобретают колбовидную форму. Их наружные (апикальные) концы обогащаются актином и сокращаются. Строго на вегетативном полюсе образуется широкий бластопор (рис. 1E-F). Поначалу короткий архентерон в длину состоит всего из 2–3 клеток. По экватору у поздней бластулы/ранней гаструлы появляется ресничный шнур (прототрох), а в центре анимального полушария – единичные реснички теменного султанчика. В это же время наблюдается начало вращения зародышей.

Дальнейший прогресс гаструляции (рис. 1G-H) связан с ростом первичной кишки (архентерона), который достигается за счет делений и изменения формы ее клеток. На вторые сутки после оплодотворения у планктонных ресничных гаструл начинается смыкание дорсолатеральных губ бластопора, так что его задний край становится щелевидным (рис. 1I-J). Передний расширенный край бластопора является предшественником рта личинки. За счет формирования «шва» по медиальной вентральной

линии кзади от бластопора закладывается брюшная сторона туловища, а архентерон изгибается (рис. 1K). Из дорсальной стенки архентерона выделяется зачаток мезодермы, клетки которого начинают делиться и заселять бластоцель. Последующие процессы преобразования гаструлы обусловлены ростом и дифференцировкой личиночных структур, обеспечивающих планктотрофный образ жизни трохофоры (ресничные шнуры, мускулатура, нервная система и др.) (рис. 1L).

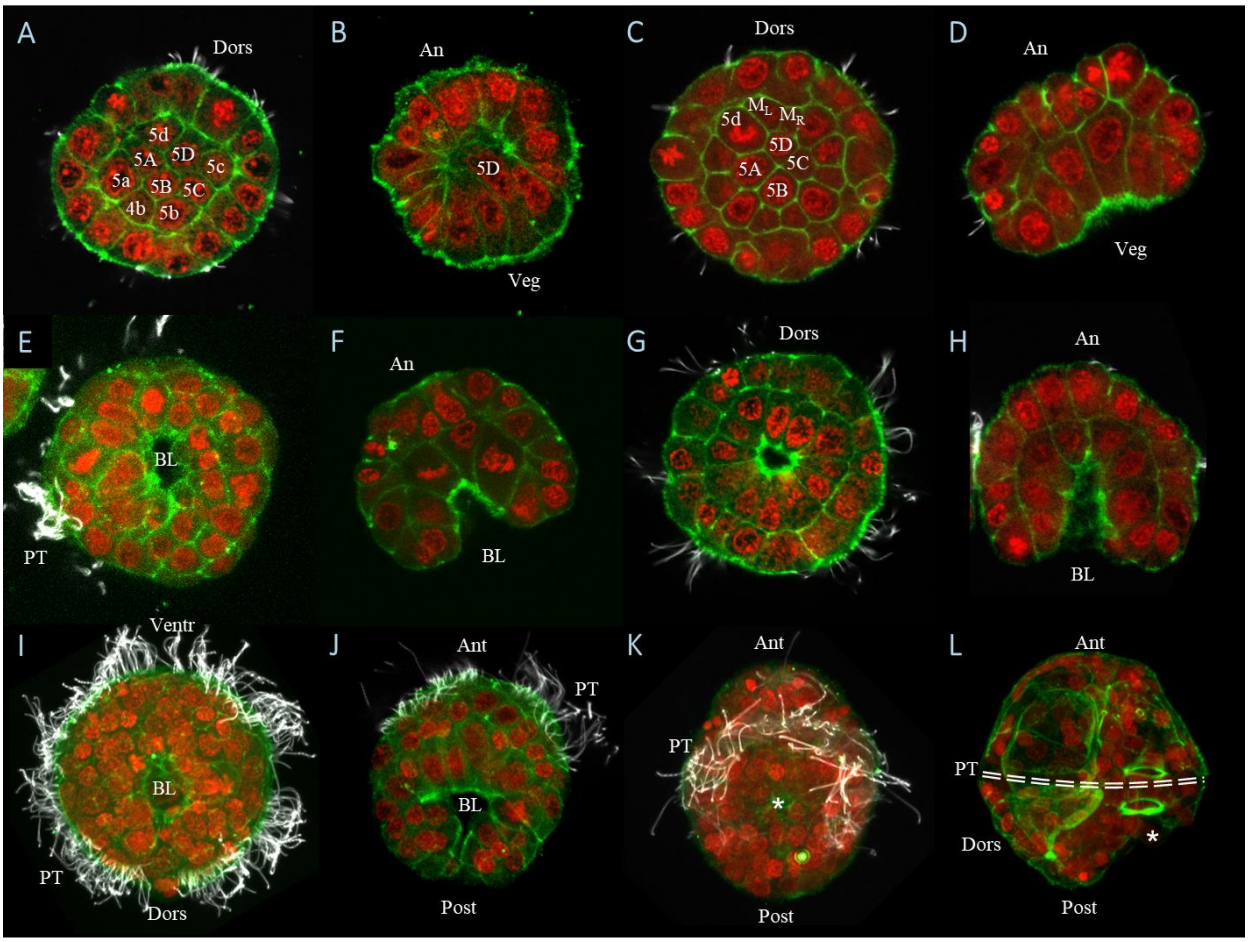


Рис. 1. Гаструляция (A-K) и трохофора (L) Ophelia limacina. Конфокальная микроскопия, окраска актина (зеленый), ядер (красный) и тубулина (белый). A, C, E, G, I, J – вид с вегетативного полюса; B, D, F, H, L – вид сбоку; K – вид с вентральной стороны. Обозначены названия бластомеров (5A-5D, 5a-5d, 4b, M_L, M_R), анимальный (An), вегетативный (Veg), передний (Ant) и задний (Post) полюс, дорсальная (Dors) и вентральная (Ventr) сторона, бластопор (BL), стомодеум (*) и прототрох (PT).

Наиболее ярко выраженным отличием развития нереидид от изученной нами беломорской *O. limacina* является обилие желтка в яйце, лецитотрофия и связанные с ней эмбриональные адаптации. Яйца *A. virens* претерпевают гетероквадрантное спиральное дробление, ведущее к образованию неравномерной стерробластулы (однослойного зародыша без первичной полости). Крупные макромеры хорошо отличимы от анимальных микромеров. Неравномерное распределение разнокачественной цитоплазмы по одноименным клеткам разных квадрантов, а также нарастающая асинхронность делений дробления отражают очень раннюю детерминацию осей симметрии и клеточных линий.

Таким образом, определение презумптивных зародышевых листков предшествует гаструляционному морфогенезу.

При гаструляции у *A. virens* существенно меняется форма макромеров (зачатка энтодермы), по поверхности которых происходит эпиболия эктодермальных микромеров (рис. 2A-B). В это же время идет пролиферация мезодермальных клеток, которые внедряются между материалом энто- и эктодермы в вентролатеральных направлениях. В области замыкания бластопора закладывается зачаток рта, который постепенно смещается в переднем направлении из-за конвергенции поверхностных клеточных доменов, объединяющихся вдоль вентральной медиальной линии (рис. 2C-D). Дифференцировка ресничек прототроха начинается лишь на завершающих этапах гаструляции, теменной султанчик не формируется вовсе. В сравнении с *O. limacina* трохофора *A. virens* состоит из гораздо большего количества клеток экто- и мезодермы, однако ее энтодерма и висцеральная мускулатура остаются совершенно неразвитыми.

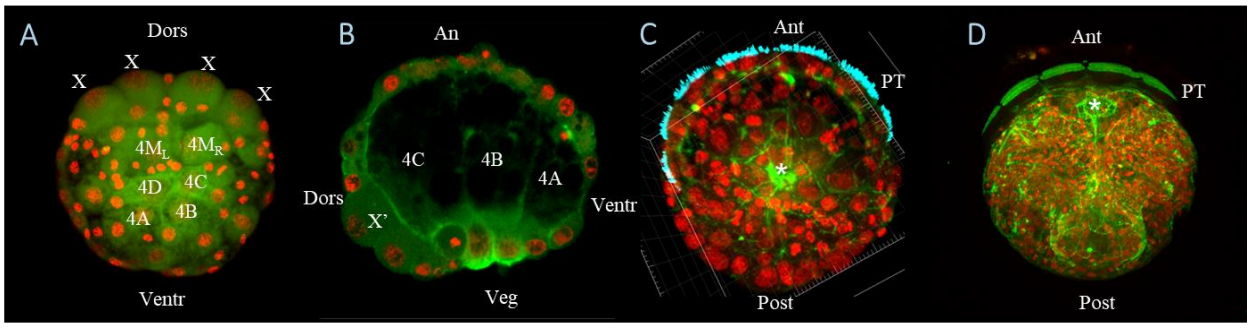


Рис. 2. Гаструляция (A-C) и трохофора (D) Alitta virens. Конфокальная микроскопия, окраска актина (зеленый), ядер (красный) и тубулина (голубой). A – вид с вегетативного полюса; B – вид сбоку; C, D – вид с вентральной стороны. Обозначены названия бластомеров (4A-4D, 4M$_L$, 4M$_R$, X), анимальный (An), вегетативный (Veg), передний (Ant) и задний (Post) полюс, дорсальная (Dors) и вентральная (Ventr) сторона, стомодеум (*) и прототрох (PT).

По ряду признаков раннее развитие *O. limacina* сходно с эмбриогенезом других аннелид, обладающих планктотрофной личинкой, например, *Polygordius, Podarke* и *Hydroides*. Особенно близки закономерности дробления, гаструляции и построения питающейся трохофоры у Opheliidae и родственных аннелид, таких как Echiura и Capitellidae. Гораздо большее разнообразие паттернов развития аннелид, яйца которых обогащены желтком и ведут к появлению дефинитивной формы или непитающейся личинки, свидетельствует о возможности многократного и независимого эволюционного перехода от планктотрофии к лецитотрофии. Тем не менее, в связи с высокой лабильностью жизненного цикла, относительной легкостью как утраты, так и вторичного приобретения свободноживущей или скрытой личиночной стадии, сделать однозначный вывод о первичном предковом состоянии типа развития у полихет пока не представляется возможным. В заключение отметим, что получение новых описательных данных и их сравнительный анализ, безусловно, способствует достижению целостного понимания механизмов развития и эволюции гидробионтов.

Работа выполнена на базе Морской биологической станции СПбГУ (УНБ «Беломорская»), РЦ ММ СПбГУ и ББС МГУ при поддержке грантов МК-1164.2020.4 и РФФИ № 18-04-01335.

ОСЕВЫЕ ОТНОШЕНИЯ У МНОГООСКУЛЮМНОЙ ГУБКИ: ТРАНСКРИПТОМНЫЙ ПОДХОД К ВОПРОСУ ПОЛЯРНОСТИ *LEUCOSOLENIA* CF. *VARIABILIS* (CALCAREA, PORIFERA).

Борисенко Илья Евгеньевич[1], Лавров Андрей Игоревич[2], Ересковский Александр Вадимович[1,3,4]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет*

[2] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

[3] *Институт биологии развития имени Н.К. Кольцова РАН, Москва*

[4] *Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale, Марсель*

Введение

На схеме тела взрослой губки того или иного класса можно отметить несколько разных осей симметрии, руководствуясь молекулярными или физиологическими признаками. Однако их сопоставление до сих пор не дает четкого ответа на вопрос гомологии осей у губок и у Eumetazoa. Нами была предпринята попытка с помощью дифференциальной транскриптомики оценить экспрессию генов, характерных для оскулюма, кормуса и дивертикулов губки *Leucosolenia* cf. *variabilis*, имеющей трубчато-ветвистую структуру, а также идентифицировать и описать эти гены. Акцент был сделан на участниках сигнальных путей, таких как Wnt и TGF-beta, для которых описана повышенная экспрессия в оскулюме. Нами показано, насколько сложным оказался механизм разметки тела губки вдоль оси водоносной системы с помощью дифференциальной экспрессии разных лигандов каскадов межклеточной коммуникации.

Методы

Терминальные участки оскулюмов, фрагменты кормуса и дивертикулы тела дефинитивной губки препарировали под стереоскопическим микроскопом с помощью микрохирургических ножниц Кастровьехо и остро заточенных пинцетов, и выделяли из них тотальную РНК с помощью реагента ExtractRNA (Evrogen). Библиотеки мРНК готовили с помощью наборов TruSeq mRNA Stranded (Illumina) и секвенировали на ячейке S-Prime прибора NovaSeq6000 (Illumina). Было получено около 1,1 млрд парно-концевых прочтений длиной 150 п.н. Было секвенировано по 3 биологических повторности для каждого образца ткани (в последующем анализе использовали только по 2 повторности из-за девиаций в одной группе образцов). Референсный транкриптом собирали с помощью ПО Trinity после удаления последовательностей адаптеров с помощью Trimmomatic. Прочтения подвергали псевдокартированию на референсный транскриптом с помощью ПО kallisto с бутстреппингом (-b 100; Bray et al., 2016), после чего данные о представленности транскриптов обрабатывали в пакете sleuth в среде R (Pimentel et al., 2017).

Результаты

Тело губки *Leucosolenia* cf. *variabilis* имеет асконоидное строение, т.е. представляет собой ветвящуюся трубку, выстланную снаружи слоем экзопинакоцитов, а изнутри слоем хоаноцитов. Нами были собраны образцы тканей из участков ее тела губки, отличающихся на функциональном и анатомическом уровне: кормус – фактически, стенка тела с хоанодермой, терминальный отдел оскулюма – трубки, через которую из тела губки выбрасывается поток воды (в этих участках внутренний слой хоаноцитов, замещается слоем эндопинкацитов), и дивертикулы – слепо замкнутые отростки кормуса. Из этих образцов была выделена и секвенирована полиаденилированная РНК. Все полученные прочтения (около 1,1 млрд) были использованы в сборке референсного транскриптома, из которого затем были удалены избыточно представленные сходные транскрипты (изоформы, полиморфные и гетерозиготные последовательности). Всего было получено 58141 белок-кодирующих последовательностей с N50 = 1299 п.н.

Количественный анализ транскриптов с помощью пакета sleuth, использующего бутстрэп для анализа дифференциальной экспрессии, позволил идентифицировать 64 транскрипта, уровень экспрессии которых отличается в оскулюме/кормусе/дивертикулах на достоверном уровне. Так, из представленной на рис. 1А тепловой карты видно, что оскулюм по отношению к дивертикулам и кормусу имеет наиболее ярко выраженный набор транскриптов, представленных только в его клетках (левый нижний угол, показано пунктирной рамкой). В то же время, при сравнении кормуса и дивертикулов видно, что отличия между ними невелики, и приходятся на небольшую группу транскриптов, которые есть в обеих тканях, но в кормусе присутствуют в большем количестве (пунктирная рамка в середине). Эта же группа транскриптов практически отсутствует в клетках оскулюма. Логично предположить, что группа кормус/дивертикул-специфичных транскриптов связана с хоаноцитами, присутствующими как в кормусе, так и в дивертикулах (но в меньшем количестве). Эти же транскрипты не представлены в оскулюме, т.к. хоанодерма в терминальном его отделе отсутствует. Остаются неясными функции оскулюм-специфичных транскриптов, т.к. ожидаемых лигандов сигнальных каскадов среди наиболее широко представленных молекул обнаружено не было.

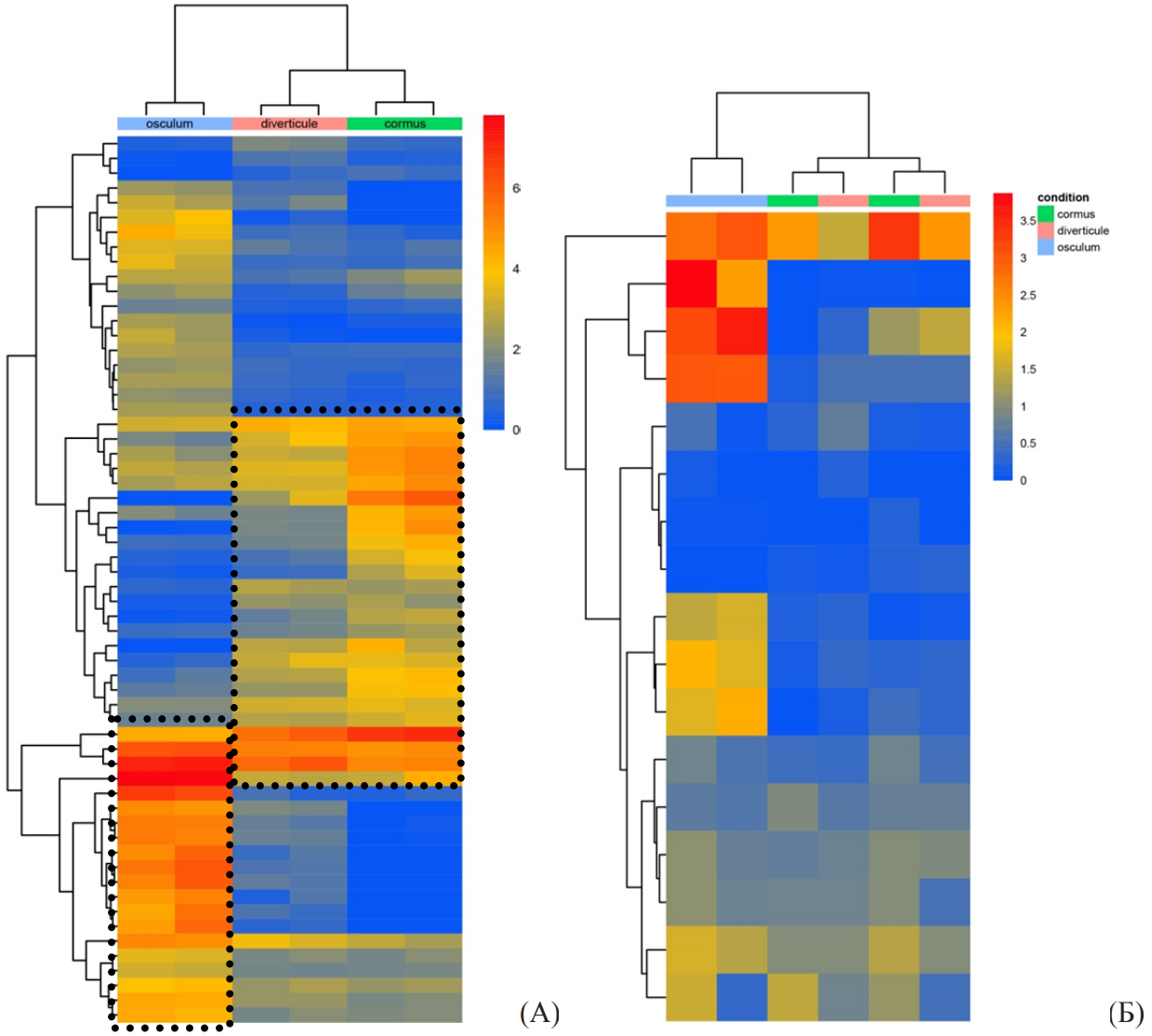


Рис 1. (А) Тепловая карта, демонстрирующая дифференциальную экспрессию в тканях оскулюма, кормуса и дивертикулах. Показаны транскрипты, для которых отличия между образцами статистически значимы (p-value<0,05). (Б) Экспрессия 17 ортологов лигандов TGF-beta в тканях оскулюма, кормуса и дивертикулах. Цветовая шкала уровня экспрессии – логарифмическая.

В качестве генов интереса нами были выбраны лиганды Wnt и TGF-beta каскадов, поскольку ранее была показана их экспрессия вдоль апико-базальной оси у некоторых губок (Leininger et al., 2014; Borisenko et al., 2016). С помощью tblastn было идентифицировано 17 ортологов TGF-beta и 19 ортологов Wnt. Оказалось, что некоторые лиганды TGF-beta экспрессируются в оскулюме на значительно большем уровне, нежели в кормусе или дивертикулах. При этом, судя по кластеризации образцов (столбцы на рис. 1Б), разница между уровнями экспрессии в дивертикулах и в кормусе, незначительна. Лиганды Wnt-каскада также демонстрируют повышенную экспрессию в оскулюме (рис. 2А); два из них, для которых у однооскулюмной губки *Sycon ciliatum* была показана специфичная экспрессия в оскулюме (Leininger et al., 2014), были клонированы, и экспрессия их показана с помощью гибридизации *in situ* с меченным РНК-зондом (рис. 2Б). Для одного из *wnt*, *LvaWntJ* (названия даны по филогенетической близости к ортологам губки *S. ciliatum*), была показана экспрессия в краевом ряду клеток оскулярной трубки (рис. 2б, *г, ж*), а также в клетках, расположенных под экзопинакодермой на конце некоторых дивертикулов (рис. 2Б, *е, и*). Это согласуется с предположением, что дивертикулы с течением времени или при каких-то определенных условиях способны формировать оскулюм. В кормусе какой-либо локальной экспрессии показано не было. Однако другой лиганд, *LvaWntI*, экспрессируется не только в оскулярной трубке (в частности, от ее основания до края), но и в экзопинакодерме по всей поверхности тела губки. При этом, что хорошо видно в падающем свете (рис. 2Б, *а*), экспрессия наблюдается не во всех экзопинакоциах, а *LvaWntI*-позитивные клетки разбросаны мозаично. В терминальном отделе дивертикулов экспрессия *LvaWntI* не наблюдается.

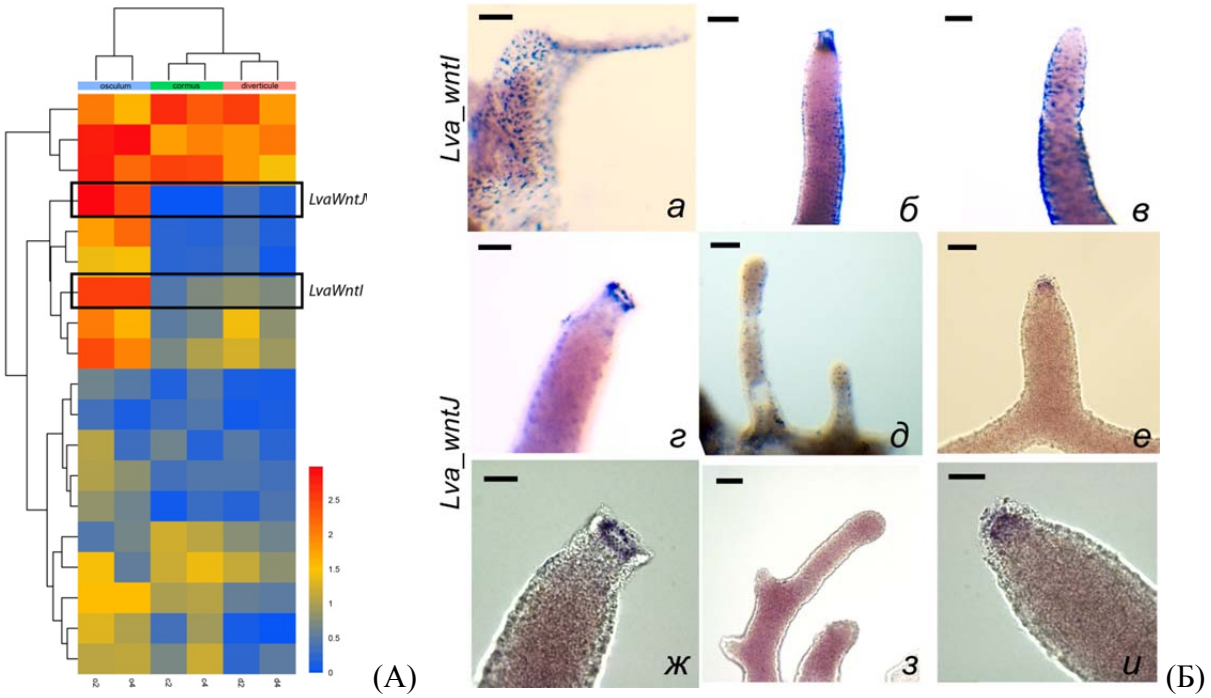


Рис 2. (А) Тепловая карта, демонстрирующая экспрессию 19 ортологов Wnt в тканях оскулюма, кормуса и дивертикулах. Черными рамками показаны два лиганда, использованных для гибридизации in situ. Цветовая шкала уровня экспрессии – логарифмическая. (Б) Экспрессия *LvaWntI* и *LvaWntJ*, выявленная с помощью гибридизации in situ с дигоксигенин-меченным РНК-зондом. *а-е* – падающий свет, *ж-и* – проходящее освещение. Шкала: *б-е* – 500 мкм, *а, ж-и* – 250 мкм.

Заключение

Нами была предпринята попытка оценить паттернирование физиологической оси полярности тела губки, связанной с правлением потока воды, с помощью RNA-Seq. Путем

анализа дифференциальной экспрессии в тканях оскулюма, кормуса и дивертикулов многооскулюмной губки *Leucosolenia* cf. *variabilis* было показано, что относительно небольшая группа транскриптов присутствует в тех или иных отделах тела губки с достоверными отличиями в уровнях экспрессии. Отдельные лиганды сигнальных каскадов Wnt и TGF-beta экспрессируются в оскулюме на более высоком уровне, однако, как показано с помощью гибридизации *in situ*, система паттернов по крайней мере для Wnt сложна и не ограничена тем или иным отделом тела, а также может быть связана с онтогенезом осевых структур, таких как оскулюм. Работа поддержана РФФИ (гранты № 19-04-00563) и грантом РНФ № 17-14-01089 (в части биоинформатического анализа).

Список литературы

Borisenko I., Adamski M., Ereskovsky A., Adamska M. Surprisingly rich repertoire of Wnt genes in the demosponge *Halisarca dujardini* // BMC Evol Biol. – 2016. – Vol. 16. – P. 123–527.

Bray N.L., Pimentel H., Melsted P., Pachter L. Near-optimal probabilistic RNA-seq quantification // Nature Biotechnology. – 2016. – Vol. 34. – P. 525–527.

Leininger S., Adamski M., Bergum B., Guder C., Liu J., Laplante M., Bråte J., Hoffmann F., Fortunato S., Jordal S., Rapp H.T., Adamska M. Developmental gene expression provides clues to relationships between sponge and eumetazoan body plans // Nature Communications. – 2014. – Vol. 5. – No. 3905.

Pimentel H., Bray N.L., Puente S., Melsted P., Pachter L. Differential analysis of RNA-seq incorporating quantification uncertainty // Nature Methods. – 2017. – Vol. 14. – P. 687–690.

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БИОТЫ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ПРЕГОЛЯ ПОСЛЕ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ РУСЛА В УСЛОВИЯХ БЕСПРИЛИВНОГО БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Полунина Юлия Юрьевна, Герб Марика Арамановна, Ежова Елена Евгеньевна, Ланге Евгения Кирилловна, Володина Александра Анатольевна, Кочешкова Ольга Владимировна

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

Введение

Река Преголя, впадающая в Вислинский залив Балтийского моря – важнейший водный объект Калининградской области. В устьевой части реки расположен г. Калининград с развитым промышленным производством, крупными портами, предприятиями и другой хозяйственной деятельностью. Устьевая область реки и Калининградский морской канал, выходящий в Балтийское море, вместе составляют единую гидродинамическую систе¬му, характеризующуюся смешением пресных и морских вод, вертикальным и горизонтальным градиентом солености и сгонно-нагонными явлениями [Чубаренко, Шкуренко, 2001]. Существенная техногенная трансформация участка реки в черте города произошла в период 2014-2018 гг. Между рукавами реки на острове Октябрьский был построен современный стадион, проведена реконструкция и строительство мостов, набережных, отсыпка и бетонирование берегов в рукавах реки. При возведении гидротехнических сооружений были существенно углублен и изменен профиль русел на рукавах Старая и Новая Преголя, что изменило конфигурацию дна и состав выстилающего его грунта. Произошло уменьшение площади прибрежного биотопа и сокращение площади зарастания прибрежно-водной растительности.

Цель работы – оценить современное состояние и уровень восстановление биологических сообществ устьевой области реки Преголи после техногенной трансформации русла.

Материал

Пробы планктона, бентоса и некоторые гидрологические показатели собраны в нижнем течении р. Преголи на участке протяженностью 17 км на 10 разрезах (20 станциях), расположенных на рукавах Новая и Старая Преголя, после слияния рукавов (УПСР) и в устье (рис. 1) в период 25-26 июня и частично 12 и 19 августа 2019 г. Описания растительности в черте города проводили с мая 2019 по сентябрь 2020 г.

Измеряли прозрачность воды (по диску Секки), температуру воды в поверхностном и придонном слое и придонную соленость зондом Idronaut 316.

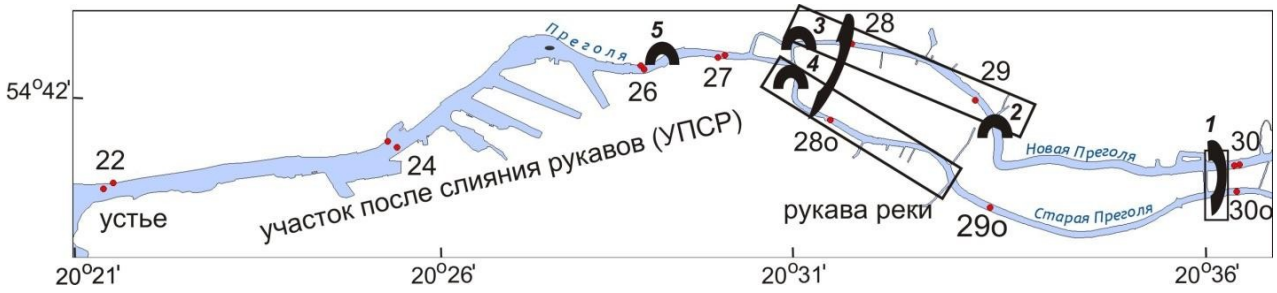


Рис. 1. Схема расположения станций, мостов и участков реки, подвергшихся значимым гидротехническим работам в нижнем течении р. Преголя

* станции пробоотбора 22-30; мосты 1-5: 1 – Берлинский мост, 2 – Восточная эстакада, 3 – Деревянный, 4- Высокий, 5 – Двухъярусный; участки реки, подвергшиеся значимым гидротехническим работам.

Результаты и обсуждение

В июне 2019 г. температура воды реки изменялась в поверхностном слое в диапазоне 24.5-26.0 °С, в придонном – 20.1-24.0 °С. Прозрачность воды варьировала 1.0-1.8 м.

Придонная соленость в рукавах не превышала 1.5 PSU, а в устье и на участке УПСР соленость достигала 5.6 PSU (табл.1). Нагонные явления обычно возникают при западных ветрах и особенно значимы в осенний период, хотя могут происходить и в летние месяцы, что, вероятно, наблюдали и в июне 2019 г., поскольку придонная соленость в рукавах на некоторых станциях превышала 1 PSU.

Таблица 1. Гидролого-гидрохимические показатели участков р. Преголи, июнь 2019 г.

Показатели / Участки реки	Устье	УПСР	Н. Преголя	С. Преголя
Глубины, м	10.0	6.0-9.0	2.5-4.0	2.0-4.0
Температура, °С (пов. / дно)	25.0/ 20.1	24.5/ 20.1	25.0 /23.3	26.0 / 24.0
Соленость, PSU (дно)	5.6	4.4-5.6	0.2-1.5	0.2-0.3
Прозрачность, м	1.0	1.2-1.5	1.3-1.8	1.3-1.6

Были отмечены некоторые изменения состава и структуры сообществ планктона, бентоса и водной растительности по сравнению с периодом до начала масштабного строительства. В водной флоре нижнего течения р. Преголя по результатам наших многолетних исследований насчитывалось 56 видов из 31 семейства и 43 родов [Биологические.., 2013; Герб, 2014]. После проведенных гидротехнических работ видовой состав прибрежно-водной растительности реки на участках в зоне прямого воздействия и ниже по течению существенно изменился. Часть видов выпали из сообществ, другие – изменили обилие и проективное покрытие, например, нитчатые водоросли (р. *Cladophora, Oedogonium, Rhizoclonium riparium*) и виды рясковых (*Lemna minor, L. gibba, Spirodella polyrhyza*) значительно увеличили долю участия в сообществах (рис.2А). Проективное покрытие на разных станциях составляло 30-60 %. Тростниковые и кубышко-кувшинковые сообщества, а также широколистные рдесты (*Potamogeton lucens, P. perfoliatus*) в центре города по данным 2019 г. исчезли или сократили проективное покрытие. *P. lucens* в 2020 г. был отмечен ближе к фарватеру реки, где из-за меньшего обилия рясковых он развивается успешнее. Процесс восстановления отмечен для стрелолиста (*Sagittaria sagittifolia*) и кувшинок (*Nymphaea candida*) (рис. 2Б). В обоих случаях в 2020 г. увеличилось не только количество цветущих особей и их проективное покрытие, но и появились ювенильные растения. Медленнее всех восстанавливается *Scirpus lacustris*.


А


Б

Рис. 2. Скопления плавающих на поверхности рясковых (А); восстановление сообществ водных растений на месте полного сведения растительности (Б), 2019 г.

В сообществе фито- и зоопланктона обнаружены виды, обитающие в условиях повышенного содержания биогенов и взвешенного вещества. Значимого сокращения числа видов планктона не выявлено. Эвригалинные планктонные рачки *Eurythemora affinis, Acartia* spp, обитающие массово в Вислинском заливе, были отмечены в рукавах реки (рис.3), где они ранее не встречались [Биологические сообщества, 2013; Полунина и др., 2018], что свидетельствует о прохождения солоноватой воды из залива в рукава реки. Количественные показатели планктона были сопоставимы с аналогичными данными до трансформации русла.

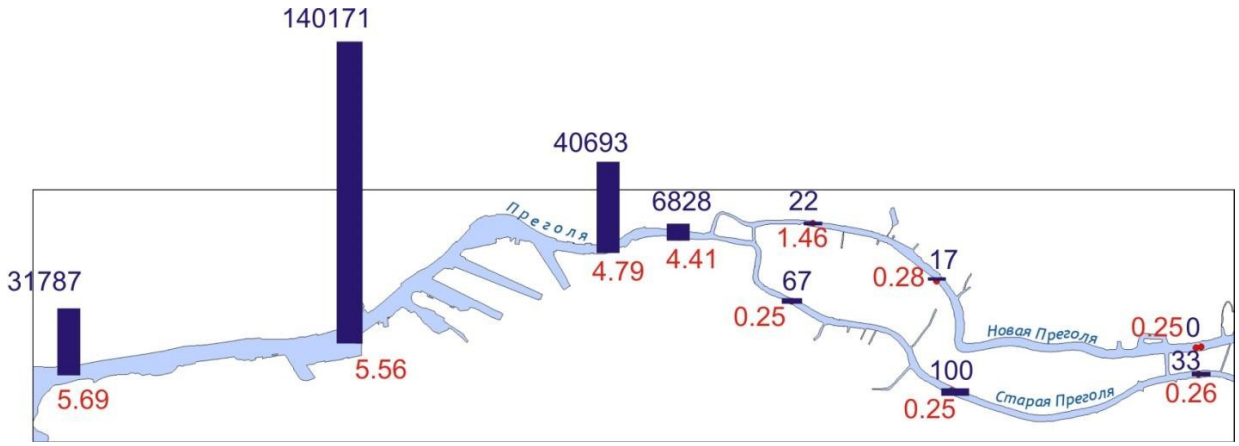


Рис. 3. Распределение *Eurythemora affinis* (синие столбики) и придонной солености (красные цифры, PSU) в нижнем течении р. Преголя, июнь 2019 г.

В сообществе донных беспозвоночных реки отмечены заметные структурные изменения, связанные с постоянным или эпизодическим присутствием солоноватоводных вселенцев – моллюска *Rangia cuneate* (Bivalvia: Mactridae) и полихет *Marenzeleria neglecta* и *Laonome cf. calida*. Остались прежними генеральные пространственные закономерности распределения бентосных организмов в речном русле: от устья вверх по течению возрастают количественные показатели, наибольшее число видов и высокие количественные показатели характерны для прибрежных биотопов, тип донных сообществ сменяется с олигохетно- хирономидного на дрейссеновый или унионидный в направлении от устья вверх. В основном, количественные показатели зообентоса сопоставимы с таковыми до периода масштабного строительства. Однако, на некоторых участках рукавов Старая и Новая Преголя, там где происходила наиболее радикальная трансформация русла и берега в связи со строительством набережных, обилие зообентоса возросло на порядок, за счет двустворчатых и брюхоногих моллюсков, и значения общей биомассы бентоса достигали 2170 г/м^2.

Таким образом, наиболее уязвимыми в результате проведенных гидротехнических работ стали сообщества водной растительности, что выразилось в их отсутствии на некоторых участках или в снижении видового состава, упрощении структуры и изменении площади зарастания. Увеличилось распространение и обилие рясковых, плавающих или прикрепленных к водным растениям зеленых нитчатых водорослей (рис. 2Б), выдерживающих высокие содержания в воде биогенных элементов. Некоторые погруженные в воду растения, чувствительные к органическому загрязнению, сократили свое обилие. В то же время, наблюдается возобновление растительных сообществ в их сведения (Рис. 2Б), что демонстрирует довольно быстрое восстановление речной растительности после воздействия.

Учитывая высокую способность к самовосстановлению речных систем, можно ожидать возобновления поясов многолетних водных растений при условии отсутствия антропогенных изменений берегов реки. Отмеченные в рукавах Преголи солоноватоводные виды зоопланктона и бентоса, ранее там не отмечавшиеся, и показатели солености придонных вод (рис.2) указывают на беспрепятственное прохождение воды при нагонах вследствие сведения растительных сообществ и бетонирования набережных в рукавах реки.

Полученные результаты показали важность прибрежно-водной растительности как фактора снижения биогенного загрязнения Преголи. Отсутствие пояса прибрежно-водной растительности привело к ухудшению условий для погруженных растений, произрастающих в зоне воздействия, а также к увеличению доли видов, в т.ч. в планктоне, свойственных водоемам с высоким содержанием биогенных элементов. Уничтожение растительности в руках реки могло неблагоприятно повлиять на нерест видов рыб, приуроченных к зарослям макрофитов.

Заключение

Наиболее уязвимыми оказались сообщества водных растений: их состав, структура упростились, изменилось проективное покрытие сообществ. Однако нами отмечены процессы возобновления многолетних растений там, где они были уничтожены. В рукавах Преголи (15-17 км от устья) впервые в летний период зарегистрированы солоноватоводные виды зоопланктона и бентоса, ранее там не отмеченные, при этом соленость придонных вод достигала 1.5 PSU. Вероятно, сведение растительных сообществ и бетонирование набережных вдоль рукавов реки способствует беспрепятственному прохождению нагонных вод из залива выше по течению реки. Итоги исследования имеют значимость для дальнейшего планирования и оптимизации снижения техногенных нагрузок на экосистему реки при освоении прибрежных территорий, могут стать основой для мониторинга распространения в реке чужеродных видов-вселенцев и редких и охраняемых видов растений и беспозвоночных гидробионтов. Полученные нами сведения позволяют выявить особенности адаптаций сообществ гидробионтов в урбанизированном речном ландшафте к меняющимся условиям среды, а также пополнят сведения для устьевых областей рек бесприливных внутренних морей.

Финансирование. Отбор и обработка материала в 2019 г. выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Калининградской области в рамках научного проекта № 19-45-390006 «Изменения биоценозов устьевой области реки бесприливного внутреннего моря в результате техногенной трансформации берегов». Анализ и интерпретация многолетних данных – по госзаданию ИО РАН №0149-2019-0013.

Список литературы

Чубаренко Б. В., Шкуренко В. И. Физические механизмы проникновения соленых вод вверх по реке Преголе с учетом влияния рельефа дна // Физические проблемы экологии (экологическая физика): Сборник научных трудов / под ред. В.И. Трухина, Ю.А. Пирогова, К.В. Показеева, М., Физический факультет МГУ, 2001. № 7. С. 80–88.

Биологические сообщества реки Преголя (бассейн Вислинского залива, Балтийское море)/ под ред. Е.Е. Ежовой, Калининград, Смартбукс, 2013. 246 с.

Герб М. А. Экологический анализ водной флоры нижнего течения реки Преголи // Известия КГТУ. 2014, № 32. С. 162-169.

Полунина Ю.Ю., Родионова Н.В., Цыбалева Г.А. Влияние гидрологических условий на формирование зоопланктона в нижнем течении реки Преголя (бассейн Балтийского моря) // Водные ресурсы. 2018. Т. 45, №5. С. 537–545.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ТРОФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛИТОРАЛЬНОГО МАКРОБЕНТОСА ГУБЫ ГРЯЗНОЙ И ЭСТУАРИЯ РЕКИ ЧЕРНОЙ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)

Столяров Андрей Павлович
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Введение

Приливно-отливная полоса или литораль находится на границе раздела твердой, воздушной, морской и пресных сред (Бурковский, 2006; Бергер, 2007; Montagna et al., 2013; Столяров, 2017). Литораль эстуарных экосистем характеризуется нестабильностью и значительной изменчивостью абиотических условий (время осушения, соленость, характер грунта, содержание в нем органического вещества, pH и Eh среды и др.), которые влияют на формирование видовой, пространственной и трофической структуры обитающих здесь сообществ живых организмов (Бурковский, 2006; Столяров, Бурковский, 2005; McLusky, Elliot, 2007; Хлебович, 2012; Khlebovich, 2015; Labay et al., 2016; Комплексные исследования Бабьего моря…, 2016; Stolyarov, 2017, 2019).

Цель настоящего исследования состояла в изучении видовой, пространственной и трофической структуры литорального макробентоса губы Грязной и эстуария р. Черной, которые различаются отгороженностью от основного бассейна, опресненностью (градиентом солености), характером грунтов и некоторыми другими факторами, что отражается на структурной организации, обитающих здесь сообществ макробентоса.

Материал и методы

Исследование литорального макробентоса было проведено летом в 2012-2013 гг. в губе Грязной (8 разрезов) и эстуарии р. Черной (10 разрезов). Восемь разрезов в губе Грязной были взяты последовательно вдоль северо-восточного берега в направлении от кутового опресненного района в сторону мористой области. В эстуарии реки Черной (2013 г.) пробы макробентоса отбирали на 10 постоянных разрезах, расположенных последовательно вдоль продольной оси эстуария в направлении от реки к морю по мере увеличения солености воды. Каждый разрез представлял собой 3 станции, соответствующие трем горизонтам литорали: нижнему, среднему и верхнему. В губе Грязной соленость воды варьировала от 14–19‰ в куту губы и до 21–22‰ в мористом районе. В эстуарии р. Черной соленость воды постепенно увеличивалась от 0-2 ‰ в устье реки до 19.6 ‰ в мористой области на выходе из эстуария.

Результаты и обсуждение

Видовое разнообразие и пространственная структура сообщества.

Всего в исследованных экосистемах было обнаружено 37 видов макробентосных организмов – 24 вида беспозвоночных животных и 13 видов морских трав и водорослей. В губе Грязной было встречено 19 видов беспозвоночных животных и 12 видов растений. Наибольшего видового разнообразия достигали моллюски (7 видов) и полихеты (5 видов), немного меньше было встречено солоноватоводных олигохет (2 вида), насекомых (2 вида) и ракообразных (1 вид). В эстуарии р. Черной было обнаружено примерно столько же видов зообентосных животных (19 видов) и макрофитов (10 видов). Однако больше было встречено солоноватоводных олигохет (3 вида) и насекомых (4 вида) при меньшем видовом разнообразии и распространении морских полихет, моллюсков и ракообразных, что

свидетельствует о большем распреснении эстуария по сравнению с губой Грязной и большем распространении там солоноватоводной фауны.

Общие показатели структуры сообщества губы Грязной (число видов, показатели видового разнообразия, общая плотность и биомасса сообщества беспозвоночных животных) на исследуемом участке приливно-отливной полосы в основном увеличивались от верхней литорали к средней и нижней, где популяции мелких эвригалинных моллюсков *Hydrobia ulvae*, олигохет *Paranais litoralis* и брюхоногих моллюсков *Littorina saxatilis*, преобладающих в верхней литорали, сменялись более крупными и менее эвригалинными формами (в основном *Mytilus edulis, Macoma balthica, Littorina littorea, Mya arenaria, Arenicola marina*), доминирующими в ниже расположенных горизонтах. В продольном направлении от кутовых районов к мористым общие показатели структуры сообщества менялись не так сильно (таблица).

Таблица. Общие показатели структуры сообщества макрозообентоса губы Грязной и эстуария реки Черной летом 2012, 2013 гг.

Интегральные показатели	Районы исследования (разрезы)								
Губа Грязная	1 р-з кут	2 р-з	3 р-з	4 р-з	5 р-з	6 р-з	7 р-з	8 р-з море	Среднее
Нижняя литораль									
S	10	11	10	8	11	6	12	5	9.1±1.0
N, экз./м^2	4222	7368	14067	7587	4290	7072	8349	5900	7357±419
B, г/м^2	78.4	127.7	156.3	101.0	509.4	614.5	883.0	670.4	392±148
H_N	1.2	0.9	1.4	1.2	1.6	0.6	1.7	0.6	1.1± 0.15
Средняя литораль									
S	5	10	7	8	8	9	8	7	7.7±0.5
N, экз./м^2	16412	12875	6093	11659	7627	5854	9725	1280	8941±3783
B, г/м^2	126.9	880.3	990.2	120.5	135.5	258.1	145.8	25.4	335±25
H_N	0.02	0.6	0.7	0.2	0.2	1.8	1.1	2.0	0.8±0.5
Верхняя литораль									
S	2	1	2	4	5	1	3	2	2.5±0.1
N, экз./м^2	3200	6080	5072	2078	5296	380	432	1216	2969±496
B, г/м^2	36.5	55.7	48.0	15.9	40.6	15.8	14.2	3.4	29±8
H_N	0.5	0.0	0.03	0.5	0.3	0.0	1.2	0.9	0.4±0.1
Эстуарий р. Черной	Солоноватая зона			Солоновато-морская зона			Мидиевая банка (на выходе из эстуария)		
Нижняя литораль									
S	2.7±0.5			4.5±1.0			6.5±0.5		
N, экз./м^2	558±175			2899±1124			6267±344		
B, г/м^2	5.5±2.3			57.4±4.3			964.6±306.9		
H_N	1.3±0.2			0.8±0.3			1.2±0.5		

Средняя литораль			
S	3.5±0.6	3.3±0.5	5.5±1.5
N, экз./м^2	1198±462	2272±1192	9668±3988
B, г/м^2	12.9±6.5	16.0±7.6	137.6±71.7
H_N	1.4±0.3	1.1±0.3	0.9±0.2
Верхняя литораль			
S	1.5±0.6	2.8±0.5	2.5±0.5
N, экз./м^2	108±56	1632±688	3200±640
B, г/м^2	1.3±1.1	6.6±3.5	8.3±3.9
H_N	0.4±0.4	0.6±0.1	0.2±0.04

Примечание. S – число видов, N – общая плотность, B – общая биомасса, H_N – индекс Шеннона по плотности популяций. ± – стандартная ошибка.

В эстуарии реки Черной общие показатели структуры сообщества (показатели общей плотности, биомассы и видового разнообразия макрозообентоса) в основном увеличивались вдоль продольной оси эстуария – от реки к морю. Особенно резкие изменения интегральных показателей структуры сообщества происходят при переходе от сильно опресненного солоноватого района эстуария к солоновато-морскому и от последнего – к мидиевой банке, расположенной на выходе из эстуарного русла реки Черной. Это обусловлено наличием порогов (верхних и нижних), которые как бы отделяют солоноватый, солоновато-морской и мористый районы эстуария друг от друга, благодаря чему формируются соответствующие зоны с различными гидрологическим и солевым режимами водоема, заселенные пресноводными, солоноватоводными и морскими разной степени эвригалинности комплексами видов.

В губе Грязной продольный градиент видовой структуры сообщества макробентоса менее выражен по сравнению с соответствующими изменениями в эстуарии реки Черной по причине более мягкого солевого режима губы Грязной, меньшим влиянием этого фактора на распределение гидробионтов и, соответственно, меньшими изменениями структурных показателей в направлении от кутового заиленного и немного опресненного района экосистемы губы Грязной к мористому, располагающемуся на выходе из губы (большая прибойность, твердые осадки и более высокие показатели солености воды).

Трофическая структура сообщества. В губе Грязной в вертикальном направлении (от верхней литорали к средней и нижней) наблюдается изменение трофической структуры сообщества макробентоса от преобладания группировок собирающих детритофагов (*Hydrobia ulvae*, *Paranais litoralis)* и скоблильщиков (меньше) (*Littorina saxatilis*) в верхней литорали к преимущественному распространению детритофагов (*Hydrobia ulvae, Macoma balthica)* и малоподвижных и неподвижных сестонофагов (*Mya arenaria* и в меньшей степени *Mytilus edulis)* в средней литорали и к доминированию в основном неподвижных сестонофагов (*Mytilus edulis)*, собирающих детритофагов (*Macoma balthica* и *H. ulvae)* и (в меньшей степени) скоблильщиков (*Littorina littorea*) в нижней литорали.

В эстуарии реки Черной в горизонтальном направлении происходят изменения трофической структуры сообщества от преимущественного развития собирающих детритофагов (хирономиды, олигохеты, брюхоногие моллюски *Hydrobia ulvae*) в опресненном солоноватом районе эстуария к доминированию малоподвижных (*Mya*

arenaria) и неподвижных сестонофагов (*Mytilus edulis*) в солоновато-морском и мористом районе, за исключением верхней литорали, где везде преобладали детритофаги (олигохеты *Paranais litoralis, Tubificoides benedii, Propappus volki, хирономиды, Hydrobia ulvae*). В вертикальном направлении в основном наблюдались изменения трофической структуры от доминирования неподвижных и малоподвижных сестонофагов в нижней литорали (*Mytilus edulis, Mya arenaria*) к преобладанию собирающих детритофагов (*Macoma balthica, Hydrobia ulvae,* олигохеты, хирономиды) в средней и особенно верхней литорали, за исключением солоноватой опресненной зоны эстуария, где во всей приливно-отливной полосе (в верхней, средней и нижней литорали) преимущественное развитие получали собирающие детритофаги (олигохеты, хирономиды, гидробии).

Надо отметить, что основные изменения трофической структуры сообщества в эстуарии р. Черной наблюдались в продольном направлении – от устья реки в сторону моря по мере увеличения солености воды. В вертикальном направлении эти изменения были менее выраженными, особенно в сильно опресненном кутовом районе эстуария, где везде преобладали собирающие детритофаги.

Заключение

Всего в исследованных экосистемах было обнаружено 37 видов макробентосных организмов – 24 вида беспозвоночных животных и 13 видов морских трав и водорослей. В эстуарии реки Черной больше было встречено солоноватоводных олигохет и насекомых при меньшем видовом разнообразии и распространении морских полихет, моллюсков и ракообразных, что свидетельствует о большем распреснении эстуария по сравнению с губой Грязной и большем распространении там солоноватоводной фауны.

Основные изменения видовой, пространственной и трофической структуры сообщества макробентоса в губе Грязной и эстуарии реки Черной в силу их разной опресненности, заиленности, протяженности и открытости к морскому бассейну имеют разновыраженный и разнонаправленный характер – в губе Грязной наиболее выражен вертикальный градиент структуры сообщества (относительно мареографического уровня – от верхней литорали к средней и нижней), а в эстуарии р. Черной – продольный (вдоль продольной оси эстуария – от устья реки к морю по мере увеличения солености воды).

Небольшая протяженность губы Грязной с относительно свободным водообменом с морскими водами (широкий вход в губу), меньшие изменения солености воды (размах колебаний, время воздействия) в пределах ее бассейна способствуют большей интеграции сообщества макробентоса по сравнению с эстуарием реки Черной, где образуются отдельные протяженные зоны (или районы) с характерными для полноценного эстуария комплексами пресноводных, солоноватоводных и морских разной степени эвригалинности видов (Хлебович, 2012; Khlebovich, 2015; Столяров, 2017, 2019).

По мере увеличения отгороженности эстуарных систем от основного бассейна и, соответственно, уменьшения их связи с морем и увеличения заиленности грунта и опресненности наблюдается постепенное повышение значения группы видов с детритным типом питания. Особенно это заметно в эстуарии р. Черной, где в опресненном (солоноватом) более отгороженном от моря районе во всей приливно-отливной полосе преобладали собирающие детритофаги.

Надо отметить меньшее видовое разнообразие беспозвоночных животных, встреченных в губе Грязной и в эстуарии реки Черной по сравнению со съемками 1998, 1999 гг. (для губы

Грязной) и 2001, 2002 гг. (для эстуария р. Черной), что, вероятно, связано с большим заилением и опреснением этих водоемов в связи с продолжающимся поднятием берегов Кандалакшского залива Белого моря (4 мм в год в этом районе) (Романенко, Шилова, 2012).

Список литературы

Бергер В.Я. Продукционный потенциал Белого моря // Исследования фауны морей. 2007. Т. 60 (68). СПб.: Изд-во ЗИН РАН. 292 с.

Бурковский И.В. Морская биогеоценология. Организация сообществ и экосистем. 2006. М.: Т-во научных изданий КМК. 285 с.

Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов (Труды Беломорской биостанции МГУ. Т.12.) / Под общ. ред. В.О. Мокиевского, А.И. Исаченко, П.Ю. Дгебуадзе, А. Б. Цетлина. М.: Т-во научных изданий КМК. 2016. 243 с.

Романенко Ф.А., Шилова О.С. Послеледниковое поднятие Карельского берега Белого моря по данным радиоуглеродного и диатомового анализов озерно-болотных отложений п-ова Киндо // Докл. АН. 2012. Т. 442. № 4. С. 544–548.

Столяров А.П. Эстуарные экосистемы Белого моря. Владимир: Калейдоскоп. 2017. 360 с.

Столяров А.П. Видовое разнообразие и трофическая структура литоральных сообществ макробентоса эстуария реки Черной (Кандалакшский залив, Белое море) // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Биол. 2019. Т. 124. Вып. 4. С.19-28.

Столяров А.П., Бурковский И.В. Особенности структурной организации экосистемы эстуария и функциональная взаимозависимость ее частей (Кандалакшский залив, Белое море) // Успехи соврем. биол. 2005. Т. 125. № 6. С. 579–592.

Хлебович В.В. Экология особи (очерки фенотипических адаптаций животных). 2012. СПб.: ЗИН РАН. 143 с.

McLusky D.S., Elliott M. Transitional waters: A new approach, semantics or just muddying the waters? // Estuar. Coast. Shelf Sci. 2007. V.71. N 3. P. 359-363.

Montagna P.A., Palmer T.A., Pollack J.B. Hydrological changes and estuarine dynamics. SpringerBriefs in Environmental Science. V. 8. N.Y.: Springer. 2013. 94 p.

Khlebovich V.V. Applied Aspects of the Concept of Critical Salinity // Biology Bulletin Reviews. 2015. Vol. 5. N 6. P. 562–567.

Labay V.S., Kurilova N.V., Shpilko T.S. Seasonal variability of macrozoobenthos in a lagoon having a periodic connection with the sea (Ptich'e Lake, southern Sakhalin) // Biology Bulletin. 2016. Vol. 43. N 9. P. 988–1002.

Stolyarov A.P. Peculiarities of the Structure of and Trends in the Macrobenthos Community of the Ermolinskaya Bay Lagoon Ecosystem, Kandalaksha Bay, White Sea // Biology Bulletin. 2017. Vol. 44. N 9. P. 1019–1034.

Stolyarov A. P. Some features of the species, spatial, and trophic structure of macrobenthos in the lagoon systems of the Ermolinskaya and Nikol'skaya inlets (Kandalaksha bay, the White sea) // Moscow university biological sciences bulletin. Allerton Press (*New York, N.Y., United States*). 2019. V. 74. N 3. pp. 176–182.

ИЗМЕНЕНИЯ В СООБЩЕСТВАХ ПОЛИХЕТ ЗЮЙДКАПСКОГО ЖЕЛОБА И МЕДВЕЖИНСКО-НАДЕЖДИНСКОГО МЕЛКОВОДЬЯ (БАРЕНЦЕВО МОРЕ) ЗА ПЕРИОД 2005-2015 ГГ.

Хачетурова Кристина Сергеевна[1], Носова Татьяна Борисовна[1], Фролова Елена Александровна[2], Дикаева Динара Раилевна[2]

[1] *Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Книповича, Мурманск)*

[2]*Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск*

Последние несколько десятилетий гидрологический режим Баренцева моря характеризуется повышенным тепловым содержанием водных масс, особенно ярко выраженным в западной части моря (Трофимов, 2018). В данной работе представлены результаты изменений, произошедших в сообществах полихет за период с 2005 по 2015 г. в районе Зюйдкапского желоба и северной части Медвежинско-Надеждинского мелководья.

Материалы и методы

Работа основана на бентосных материалах, полученных в ходе экспедиции НИС «Фритьоф Нансен» (Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО») в 2005 г. и НИС «Дальние Зеленцы» (ММБИ РАН) в 2015 г. В обеих экспедициях дночерпательные пробы были отобраны в 6-ти совпадающих точках, расположенных трансектой вдоль Зюйдкапского желоба к северной части Медвежинско-Надеждинского мелководья (рис. 1).

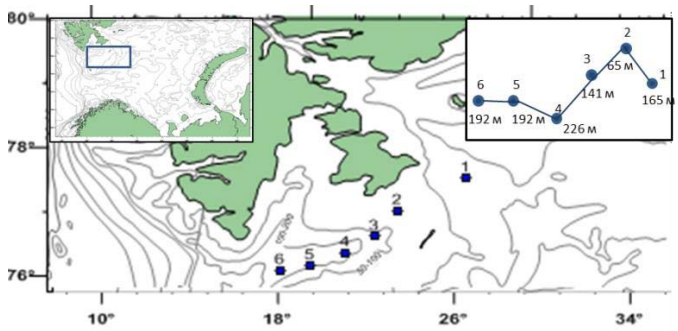


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в 2005 и 2015 г.
На правой вставке – глубина расположения станций

Все пробы были отобраны по стандартной методике дночерпателем ван Вина с площадью захвата 0,1 м^2 в трёхкратной повторности на станции. На каждой станции измерялась температура и солёность придонного слоя воды.

Таксономическая обработка полихет проведена авторами.

Оценка фаунистического сходства сообществ полихет проведена методом кластерного анализа с использованием в качестве меры фаунистического сходства коэффициента Сёренсена (Sørensen, 1948) вычисляемого по формуле:

$$K = {2c}/{(a+b)}$$

где a и b — количество видов на сравниваемых станциях, c — количество общих видов.

Расчёт продукции осуществлялся по формуле (Манушин, 2008):

$$P = B \cdot 0.0019 \cdot (B/N)^{-0.39} \cdot 365$$

где P – продукция г/м^2 в год; B – биомасса, г/м^2; N – плотность поселения, экз./м^2;

Результаты и обсуждение

В материалах 2005 г. был идентифицирован 101 таксон полихет (89 – видового ранга), принадлежащих 29 семействам. В 2015 году видовой список составил 124 таксона (102 – видового ранга), принадлежащих к 26 семействам. На всех станциях в 2015 г. было зарегистрировано увеличение видового разнообразия полихет в среднем на 15,3% (от 3 до 9 видов) по сравнению с 2005 г (табл. 1).

Таблица 1

Количество видов полихет в 2005 и 2015 г.

Год	Станции					
	1	2	3	4	5	6
2005	31	51	36	40	48	53
2015	39	54	43	45	57	58
Изменения, %	25,8	5,8	19,4	12,5	18,7	9,4
Количество общих видов в 2005 и 2015 г.	21	26	26	24	36	29
Доля общих видов от 2005, %	67,74	54,9	72,22	60	75	54,72

Наименьшее количество общих видов зарегистрировано на станции 6, расположенной наиболее близко к ветви Южно-Шпицбергенского течения, а так же на мелководной станции № 2.

Анализ биогеографической структуры фауны полихет изученного района показал, что за 10 лет относительное количество бореально-арктических видов существенно не изменилось, в то время как доля бореальных видов увеличилась почти на 5 %, а арктических снизилась на 2% (рис. 2).



Рис.2. Биогеографическая структура фауны полихет (количество видов) в водах юго-западной части арх. Шпицберген в 2005 и 2015 гг., %
a – арктические виды, b – бореальные виды, b-a – бореально-арктические виды

Отмеченные изменения могут быть связаны с увеличением температуры придонного слоя воды на станциях в среднем на 0,9 ºС. Данное увеличение температуры выявлено на основании измерений, полученных в ходе обеих экспедиций.

Биомасса полихет за анализируемый десятилетний период увеличилась на всех станциях с 1,39-24,15 г/м^2 (среднее значение 15,94 $\pm$ 3,47 г/м^2) в 2005 г. до 24,33-100,70 г/м^2 (среднее значение 50,56 $\pm$ 11,48 г/м^2) в 2015 г. (рис. 3 А).

Постанционные показатели плотности поселения полихет за указанный период также увеличились с 456-4347 (среднее значение 1957,1 $\pm$ 550) до 1310-7217 (среднее значение 3660 $\pm$ 798) экз./м^2. (рис. 3 Б).

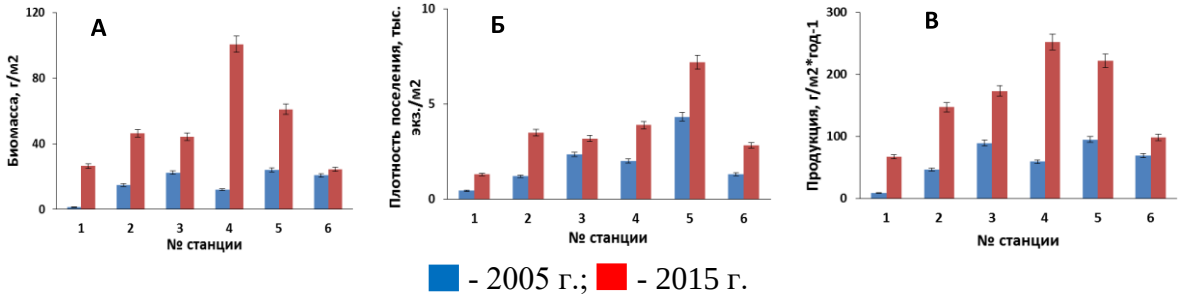


Рис.3. Биомасса, г/м^2 (А), плотность поселения, экз./м^2 (Б) и суммарная продукция (г/м^2*год$^{-1}$) многощетинковых червей на станциях в 2005 и 2015 г.

Расчетные показатели суммарной продукции полихет на станциях (рис. 3 В), как и биомасса и численность показали увеличение значений в 1,4-7,3 раза и в среднем по исследованному району – в 3,0 раза.

Таким образом, за десятилетний период положительных температурных аномалий, биомасса, численность и продукция полихет в исследованном районе в среднем увеличились в 6, 2 и 3 раза, соответственно. Поскольку пищевые ресурсы являются одним из основных факторов, определяющих обилие зообентоса (Зенкевич, 1970), отмеченные изменения могут свидетельствовать об улучшении условий питания группы полихет в целом. Это может быть обусловлено, как увеличением первичной продукции из-за климатических изменений (увеличение температуры, уменьшение ледовитости, увеличение вегетационного периода и др.), так и увеличением поступления органического вещества на акваторию Баренцева моря за счет усиления адвекции атлантических вод.

Анализ биоценотической структуры фауны полихет так же показал наличие выраженных изменений. На дендрограмме, построенной на основе данных 2005 г., средний уровень сходства между станциями составляет 51%, а станции отчетливо группируются в кластеры в соответствии с изменениями условий обитания вдоль трансекты (рис. 4).

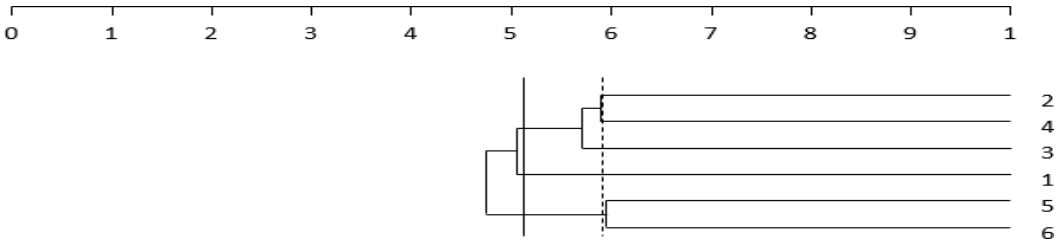


Рис.4. Результаты кластерного анализа постанционных видовых списков полихет, полученных на станциях разреза Зюйдкапский желоб–Медвежинско-Надеждинское мелководье в 2005 г.

Хорошо обособленную группу образуют станции, расположенные в глубоководной части Зюйдкапского желоба в области непосредственного влияния теплых атлантических вод Южно-Шпицбергенского течения (станции 5, 6; глубина 170 – 192 м; температура 3,26 – 3,94 °С). На уровне сходства порядка 60% объединяются в группу станции, расположенные на восточном склоне Зюдкапского желоба (станции 2, 3, 4; глубина 56 – 227 м; температура 1,06 – 3,23 °С). Отдельно на дендрограмме выделяется станция 1 (глубина 165 м; температура 1,31 °С), расположенная на Медвежинско-Надеждинском мелководье, где влияние теплого Южно-Шпицбергенского течение минимально.

Результаты кластерного анализа материалов 2015 г. (рис. 5), показали увеличение среднего уровня сходства между станциями (с 51 до 60 %) и уменьшение степени структурирования дендрограммы. Полученная картина свидетельствует об увеличении степени сходства сообществ полихет на станциях вдоль трансекты от западной части Зюйдкапского желоба к северной части Медвежинско-Надеждинского мелководья за счет усиления влияния теплой атлантической водной массы.

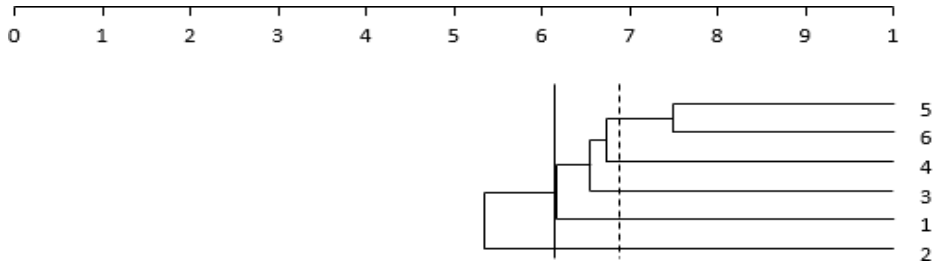


Рис. 5. Результаты кластерного анализа постанционных видовых списков полихет, полученных на станциях разреза Зюйдкапский желоб–Медвежинско-Надеждинское мелководье в 2015 г.

Заключение

В ходе сравнительного анализа бентосных материалов, собранных в водах южной части арх. Шпицберген вдоль трансекты Зюйдкапский желоб–Медвежинско-Надеждинское мелководье в 2005 и 2015 г., показано, что потепление придонного слоя воды в указанный период благотворно повлияло на обилие и продукционные характеристики сообществ полихет, о чем свидетельствует значительное увеличение этих показателей. Отмечено, что усиление притока теплых атлантических вод сопровождалось изменением структуры сообществ полихет, преимущественно за счет увеличения количества бореальных видов.

Список литературы

Зенкевич Л. А. Общая характеристика биогеоценозов океана и сравнение их с биогеоценозами суши // Программа и методика изучения биогеоценозов водной среды. Биогеоценозы морей и океанов. М.: Наука, 1970. С. 7-27

Манушин И. Е. Средняя масса особи как показатель скорости оборота вещества в популяциях водных эктотермных животных // Материалы X науч. семинара «Чтения памяти К. М. Дерюгина». СПб.: ЗАО «КопиСервис», 2008. С. 29–34.

Трофимов А. Г. Изменения климата в Баренцевом море на протяжении последнего полувека / А. Г. Трофимов, А. Л. Карсаков, В. А. Ившин //Труды ВНИРО. – 2018. – Т. 173.

Sørensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons // Biol. Skr. 1948. Vol. 5. P. 1-34.

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД В ИЗУЧЕНИИ ДОННЫХ ОСАДКОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Руденко Ольга Владимировна,
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», г. Орёл

Споры и пыльца наземных растений - категория микрофоссилий, давно и успешно используемая при стратиграфическом расчленении позднекайнозойских осадков и палеореконструкциях природных и ледово-гидрологических обстановок в арктических морях. Маринопалинологический метод весьма информативен при изучении процессов взаимодействия между сушей и морем и позволяет проводить прямую корреляцию морских и континентальных осадков на основе использования многих пыльцевых таксонов в качестве биоиндикаторов.

Настоящее сообщение посвящено результатам изучения палиноспектров (далее в тексте - ПС) из поверхностного слоя донных осадков арктических морей, полученным автором в 1979-2019 г.г. в период работы в ОАО «Мурманская арктическая геологоразведочная экспедиция» на донном опробовании в рамках государственной геологической съемки 1:1000000 масштаба (листы R-(35),36, R-37,38, R-39-40, S-(36),37, S-38-40, Баренцево море), а также в рамках договорных работ с ФГНПП «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» (лист S-43-44, Карское море), ФГУП
«Государственный трест «Арктикуголь» (Гренландское море и шельф Шпицбергена) и российско-германских программ «Laptev Sea System» и «Climate Change in the Arctic» (море Лаптевых). Было изучено более 200 образцов (*Рисунок 1*), что позволило выявить региональные различия в процессах захоронения микрофоссилий в осадках и создать надежную актуалистическую базу для палеореконструкций.

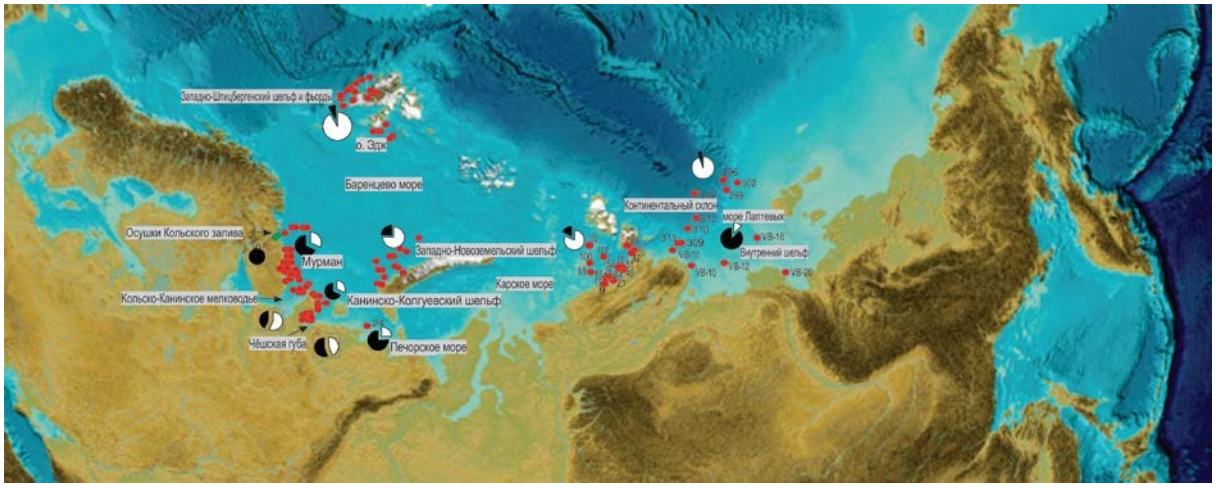


Рисунок 1. Расположение точек отбора проб: красные точки - пробы с поверхности дна; зеленые точки - пробы из осушек. Круговые диаграммы показывают осредненную долю переотложенных пыльцы и спор дочетвертичного возраста в ПС (белые сегменты).

Все изученные ПС имеют гетерохронный состав и состоят из «молодой» части, включающей пыльцу и споры плейстоцен-голоценового возраста удовлетворительной и хорошей сохранности, и «древней» - переотложенной дочетвертичной, образующей основу гетерохронного спектра в глубоководных и прибрежно-морских осадках всех изученных арктических морей и отсутствующей лишь в отложениях осушек Кольского

залива. Максимально высока доля дочетвертичных пыльцы и спор в поверхностных осадках шельфа Западного Шпицбергена и о. Эдж (до 90-99% от общего количества зарегистрированных микрофоссилий), континентального склона моря Лаптевых (до 95%) и Западно-Новоземельского шельфа (70-75%). Наименьшие значения (менее 1-5%) зафиксированы в осадках заливов Мурмана. Переотложенные компоненты ПС изучались с целью получения информации о возрасте коренного ложа районов исследования и определения возможных источников и направлений сноса перемытого материала. Сопоставление состава переотложенных микрофоссилий с геологической картой дочетвертичных отложений Северного Ледовитого океана и сопредельных территорий (Погребицкий, 1983) показало, что бóльшая их часть имеет локальный генезис и поступает в осадки шельфа за счет донной абразии.

Таксономический состав переотложенных микрофоссилий, в свою очередь, также гетерохронный. Самую древнюю группу образуют немногочисленные микрофоссилии пермо-карбонового и нижнетриасового возраста: *Laevigatosporites* sp., *Punctatisporite*s sp., *Stenozonotriletes* sp., *Verrucosisporites nitidus* Playf., а также *Raistrickia* sp., *Retusotriletes subgiberrosus* Naum. и более обильная пыльца *Cordaitina* sp., *Lebachiites* sp., *Walchiites* sp., *Taeniasporites* sp., *Vittatina* sp., *Striatopinites.* Последние два таксона особенно характерны для ПС Западно-Новоземельского шельфа и шельфа Западного Шпицбергена.

Триасово-юрскую составляющую переотложенной части ПС образуют *Aratrisporites* sp., *Camptotriletes cerebriformis* Naum., *Auritulinasporites* spp., *Conbaculatisporites mesozoicus* Klaus, *Conglomeratispora triassica* (Mal.) Warjuch., *Discisporites* multiform. *gyratus* Playf. et Dett., *Equisetites glabrus* (Mal.) Prosv., *Leschikisporites aduncus* (Lesch.) Pot., *Microlepidites crassirimosus* Timosch., *Onychium amplectiformis* K.-M., *Asaccites* sp., *Caytonia* sp., *Cedruites* sp., *Chordasporites, Entylissa cycadiformis* Naum., *Ovalipollis* sp., *Paleoconiferus asaccatus* Bolkh.

Наиболее часто пермо-карбоновые и триасово-юрские пыльца и споры встречаются в Карском море в прибрежье архипелага Норденшельда, островов Сергея Кирова и Северной Земли, куда они, вероятно, привнесены с ближайшей суши, где распространены породы этого возраста (Шарапова и др., 2012).

Численно доминируют в ПС пыльца и споры, характерные для нижнего мела: *Pinus* spp., *Picea* sp., *Podocarpus* sp., *Bennettites, Gingko* sp., Taxodiaceae/Cupressaceae, а также споры *Leiotriletes* spp., Schizaeaceae, Cyathidites, Cicatricosisporites, Pilosisporites, Aequitriradites, *Sphagnum* sp., Gleicheniaceae. Наибольшее таксономическое разнообразие (обычно до 40-50 таксонов и более) характерно для ПС Баренцева и Карского морей. В осадках этих же морей единично зарегистрированы представители альгофлоры нижнего мела - *Apteodinium granulatum* Eis., *Chatangiella* sp., *Ch. niiga* Vozz., *Tenua* sp. и акритархи *Veryhachium reductum* Defl., *Micrhystridium* sp.

Верхнемел-палеогеновая пыльца покрытосеменных (*Aquillapollenites, Trudopollis, Extratriporopollenites, Nudopollis, Mancicorpus, Proteacidites, Triprojectus, Corylopsis compacta* (Lbm.) Gladk., *Orbiculapollis globosus* (Chlon.), Chlon., *Wodehouseia spinata* Stanley) и немногочисленные зерна пыльцы древесных растений аркто-третичной флоры (*Rhus, Nyssa, Carya, Pterocarya,* Myricaceae), отличающиеся прекрасной сохранностью и своеобразной оранжеватой окраской, обнаружены в осадках Печорского и, в особенности, Карского морей, а также, единично, в осадках континентального склона моря Лаптевых. В то же время, они не зарегистрированы в ПК внутреннего шельфа моря Лаптевых, прилегающего к дельте р. Лена, в осадках побережья Мурмана и на шельфе Западного

Шпицбергена.

«Молодую» часть ПС, не несущую явных признаков переотложения, отличают различная степень сохранности и значительная вариабельность таксономического состава, что, в свою очередь, определяется обстановками осадконакопления в морских бассейнах, их размерами и рельефом дна, а также составом растительности прилегающей суши. В целом, концентрация пыльцы и спор значительно выше в осадках прибрежья и внутренних районов шельфа арктических морей в сравнении с внешним шельфом.

Пространственно-географические особенности ПС.

Баренцево море. Поверхностные осадки Баренцева моря характеризуются довольно низкой концентрацией спор и пыльцы и значительными ее различиями по площади бассейна. Наибольшие концентрации (до 10000 зерен/г влажного осадка) наблюдаются в зонах активного осадконакопления: устьях рек Мурмана и желобах Гусином, Новоземельском, Зюйд- и Нордъюпет, а низкие значения (1-50 зерен/г) характерны для динамичной зоны влияния течения вдоль западного побережья Мурмана, а также для подводных плато (Нордкин, Моллера) и банок Демидовской и Финнмаркен. ПС открытой части Баренцева моря и шельфа Западного Шпицбергена характеризуются особенно низкой концентрацией пыльцы и спор и преобладанием дальнезаносных пыльцы *Pinus silvestris* и спор *Sphagnum.* Пыльца и споры локальных компонентов современной флоры Свальбарда (*Salix polaris, S. glauca,* Cyperaceae, Saxifragaceae, Bryales) встречаются в ПС нечасто и их доля не превышает нескольких процентов в сумме.

ПС Западно-Новоземельского шельфа характеризуются высокой долей дальнезаносной пыльцы хвойных растений (в среднем более 28-30%) и обилием пыльцы *Betula nana*-type (до 30%), которая, скорее всего, заносится из кустарниковых тундр п-ова Канин и о. Колгуев.

ПС Мурманского мелководья, шельфа п-ова Канин и Чёшской губы наиболее адекватны составу растительности прилегающей суши. Так, ПС Мурманского мелководья обогащены пыльцой южных кустарниковых тундр - березы карликовой, вересковых и субарктических трав (Polygonaceae, Ranunculaceae, Caryophyllaceae, *Cassiope* sp. D. Don., *Thalictrum alpinum* L., Vacciniaceae). В поверхностных осадках Кольско-Канинского района и Чёшской губы особенно обильны пыльца сосны, ели и, в меньшей степени, пихты (до 60% в сумме).

Примечательно, что в ПС южной периферии Баренцева моря единично встречена пыльца широколиственных растений (*Quercus, Tilia, Carpinus, Corylus* и *Ulmus*). Учет пыльцы этой экологической группы растений особенно важен при интерпретации маринопалинологических данных. Известно, что ее воздушная транспортация затруднена в силу морфологических особенностей, и захоронение происходит в непосредственной близости от растений-продуцентов; на дальних расстояниях от их ареала основным путем поступления на шельф считается занос с речным стоком или морскими течениями (Федорова, 1952 и др.). Принимая во внимание, что реки, дренирующие зону смешанных лесов Русской равнины, несут взвеси к морям Каспийскому, Азовскому и Черному, ближайшим ареалом растений-продуцентов, вероятно, следует считать леса Западной Европы и юга Скандинавии, а основным транспортирующим фактором - Норвежское и Мурманское течения. В этом случае пыльцу широколиственных растений можно считать надежным биоиндикатором связи Баренцева моря с Северной Атлантикой. И действительно, модель распределения пыльцы широколиственных растений в

поверхностных осадках Баренцева моря соответствует конфигурации «дочерних» ветвей Нордкапского течения (Rudenko, 2019).

Карское море. Пробы поверхностных осадков подняты в 2008 г. в юго-восточной части Карского моря дночерпателем «Океан» с борта НИС «Фритьоф Нансен». Состав изученных ПС складывается под влиянием нескольких факторов: а) сурового климата, определяющего невысокое разнообразие прибрежной флоры побережья и островов; б) региональной весенне-летней розы ветров, в которой преобладают ветры северо- восточных румбов (Метеорологические…, 2011); в) огромного речного стока Оби и Енисея, с которым на шельф транспортируется пыльца хвойных пород западносибирской тайги. Особенностью ПС является содоминирование пыльцы *Pinus* subgen *Haploxylon* и *Betula nana*-type (более 70-75%), большое количество пыльцы злаков, особенно в прибрежье, и спор сфагновых мхов. Севернее 70º с.ш. в ПС регистрировались только единичная пыльца Pinus subgen *Haploxylon*, *Artemisia* и споры *Polypodiaceae*.

Море Лаптевых. ПС изучены в ненарушенном поверхностном слое осадков внешнего шельфа и континентального склона моря Лаптевых, а также затопленных палеодолин рек Лены, Анабара, Оленека и Хатанги, поднятых 13 мультикорерами в экспедициях ARK27-3 на НИС «Поларштерн» в 2012 г. и Трансдрифт XXI на НИС «Виктор Буйницкий» в 2013 г. Локально-региональный компонент ПС включает пыльцу приморских лайдовых галофитов (*Artemisia*, Asteraceae, Poaceae и Chenopodiaceae), тундровых биоценозов Якутии и травянистых сообществ полярной пустыни Новосибирских островов и северного побережья полуострова Таймыр (Polygonaceae, Rosaceae, Brassicaceae и др.). В споровой части ПС наиболее многочисленны сфагновые и зеленые мхи. Значительную в процентном отношении дальнезаносную группу формируют пыльца *Pinus silvestris, P.* subgen *Haploxylon* (*P. pumila/P. sibirica*) и, в меньшей степени, *Picea*, а также споры папоротников. Кроме того, как оказалось, несмотря на удаление точек пробоотбора на сотни километров от берега, в осадках затопленных палеодолин Лены и Яны и на континентальном шельфе к востоку от 130° в.д., доминирует пыльца растений пойменных биоценозов (*Alnaster fruticosa,* Cyperaceae, Poaceae и *Betula nana*-type), что свидетельствует об определяющей роли речного стока в транспортировке пыльцы и спор на шельф и, в особенности, на континентальный склон. В то же время, в ПС западной части открытого шельфа и материкового склона обнаружены лишь единичные зерна пыльцы сосны сибирской, злаков и споры папоротников.

Концентрация спор и пыльцы, будучи минимальной на западе материкового склона и внешнего шельфа (не более 2-5×10^3 зерен/г сухого осадка), она увеличивается с запада на восток от 18×10^3 зерен/г в центральной части до 135×10^3 зерен/г в восточной части континентального склона и на внутреннем шельфе, примыкающем к дельте Лены, что также указывает на доминирующую роль речного стока в процессе формирования ПС.

Литература:

Метеорологические и геофизические исследования /под ред. Г.В. Алексеева. СПб: Изд-во Паулсен, 2011. 620 с.

Погребицкий Ю.Е. Геологическая карта Северного Ледовитого океана и сопредельных территорий. Л.: Изд-во ВСЕГЕИ.1983. М-б 1:15000000.

Федорова Р.В. Распространение пыльцы и спор текучими водами // Тр. Ин-та географии АН СССР. Т. 52. Вып. 7. 1952. С. 46–72.

Шарапова А.Ю., Руденко О.В., Фефилова Л.А., Макарьев А.А. Переотложенные

спорово-пыльцевые комплексы из четвертичных отложений Карского моря //Геология и разведка недр. №8. 2012. С. 83-87.

Rudenko, O. Subfossil pollen spectra from bottom sediments of the marginal seas of the Russian Arctic: taxonomic composition and regional differences //Abstract Book of the 12th International Meeting «Pollen Monitoring Programme (PMP)». Riga, University of Latvija, 2019. Pp. 33-35.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗООБЕНТОСА В ТОЛЩЕ ГРУНТА В ЖЕЛОБЕ ФРАНЦ-ВИКТОРИЯ И У ЗЕМЛИ ФРАНЦА-ИОСИФА ПО ДАННЫМ ПЕРВОГО ЭТАПА ЭКСПЕДИЦИИ «ТРАНСАРКТИКА-2019»

Семин Виталий Леонидович[1], Зимина Ольга Леонидовна[2]

[1]ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва
[2]ФГБУН Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск

Введение. Изучение вертикального распределения организмов бентоса в толще грунта помогает не только лучше понять биологию конкретных видов, но и взаимодействие между ними. Распределение количественных и качественных характеристик биоты по вертикали является характерной особенностью сообщества и обусловлено, с одной стороны, структурой донных осадков, а с другой – биотическими взаимодействиями между видами. В отличие от мейобентоса [Caballero et al., 2017; Jöst et al., 2017], для макрозообентоса этот вопрос остается сравнительно малоизученным [Shivarudrappa et al., 2018], т.к. требует проведения специальных исследований. Подобных опубликованных работ для российской Арктики практически нет. Таким образом, основной целью данной работы являлось изучение вертикального распределения животных в толще грунта и его связь с факторами среды по данным экспедиции «Трансарктика-2019» (первый этап).

Методы. Были отобраны 44 колонки на 18 станциях по маршруту дрейфа НЭС «Академик Трешников» через кромку шельфа к северу от Земли Франца-Иосифа (ЗФИ) и желоб Франц-Виктория, и на 6 станциях на юго-западном разрезе у ЗФИ. Пробы грунта отбирали малым бокс-корером с размером короба 40x40x50 см в двух повторностях. В ряде случаев из-за тяжелого грунта удалось отобрать только один бокс-корер, пригодный для дальнейшей обработки. Из каждого бокса трубчатыми разъемными пробоотборниками диаметром 0,16 м и длиной 0,5 м отбирали по одной подпробе. С пробоотборника с отобранным керном снимали одну половину и определяли слои осадков (визуально и по плотности). Затем керн разрезали по границам слоев. Толстые слои дополнительно делили на части по 5-6 см. Всего получалось до шести подпроб из одной колонки, общее количество составило 217. Пробы промывали через сито с размером ячеи 0.5 мм и фиксировали 4% формалином. Через сутки их отмывали от формалина пресной водой и под МБС-10 проводили отделение животных от грунта, сортировку по таксономическим группам и фиксацию животных 70% этиловым спиртом для дальнейшей обработки по стандартной методике в лаборатории на берегу.

Статистическую обработку проводили в пакете Primer 6.1.16 с расширением Permanova+ 1.0.6 [Clarke, Gorley, 2006; Anderson et al., 2008]. Матрицы сходства высчитывали с помощью индекса Брея-Кёртиса и процедуры DOMDIS, сравнивающей форму кривых доминирования в пробах (по лог-трансформированной биомассе, г/л), а также таксономического индекса Gamma+. Кроме исходной таблицы, мы использовали таблицу с экстраполированной вверх по керну биомассой некоторых видов, исходя из следующих соображений. Многие организмы, проникающие глубоко в осадок (*Spiochaetopterus typicus, Golfingia* spp., цериантарии), не приурочены к нижним слоям – наоборот, при кормлении они высовываются из своей норки, либо находятся в верхней ее части, но будучи потревожены (например, при попадании в бокс-корер) уходят глубоко в норки. Т.о., нахождение их в нижней части керна говорит скорее о реакции на опасность и глубине их максимального проникновения. Результаты, полученные для исходной и трансформированной таблиц, сравнивали между собой.

Достоверность группировки проверяли с помощью методов ANOSIM и PERMANOVA.

Регрессионный анализ проводили с помощью процедуры DistLM (Distance-based Linear Models). Достоверными считали минимальные значения уровня значимости для ANOSIM (=0.1%) и P =0.001 для PERMANOVA и DistLM.

Результаты и обсуждение. Всего в пробах отмечено 287 таксонов. При использовании трансформированных данных наибольшая встречаемость (до 86%) во всех слоях была у *S. typicus,* он везде входил в группу видов с наибольшей биомассой. Характеристики слоев далее даются по нетрансформированным данным, если не указано обратное.

Только 13 таксонов не встречались в верхнем окисленном и сильно обводненном слое (I), толщина которого составляла обычно 3-5 см. Из этих тринадцати *Golfingia* sp. и цериантарии, как уже упоминалось, кормятся на поверхности, и на глубину уходят при тревоге. Кормятся на поверхности и теребеллиды. Остальные 10 таксонов – единичные находки. Таким образом, всего в пробах из этого слоя отмечено 274 таксона, еще три в нем несомненно присутствовали, отсутствие остальных десяти скорее может объясняться единичностью находок, а не приуроченностью к нижним слоям. Среднее число в пробе составляло 32±10 (максимум 55). Наиболее характерными видами (встречаемость 81-82%) в этом слое были полихеты *Spiophanes kroyeri* и *Prionospio cirrifera.* Они же на многих станциях доминировали и по биомассе (по трансформированным данным – совместно с *S. typicus*), в этом случае структура доминирования была наиболее выравненной. При доминировании двустворок (*Astarte* sp., *Mendicula ferruginosa, Yoldiella* spp.) или иглокожих (в первую очередь *Ctenodiscus crispatus*) степень доминирования была на порядок больше.

Глубже на половине станций шел слабо обводненный слой (II), в котором отмечено 77 таксонов. Для сравнения с остальными слоями мы рассчитали ожидаемое число видов для 44 проб, которое составило 109±5 видов. Число видов в одной пробе в среднем 10±5 (максимум 17). По нетрансформированным данным наиболее частыми видами были *Spiophanes kroyeri* и *Heteromastus* aff. *filiformis* (50 и 59%, соответственно); по биомассе чаще других преобладали *Maldane sarsi* с биомассами порядка 2 г/л, однако достоверный вид-маркер для этого слоя нам выделить не удалось.

Ниже отмечался слой (III) более плотных осадков (57 таксонов, в среднем 4±3 на станции). Начиная с этого слоя результаты для трансформированных и нетрансформированных данных не отличаются, а в трети проб макробеспозвоночные уже не отмечены. На первое место выходит *S. typicus.* Он присутствовал во всех «живых» пробах, и, как правило, доминировал по биомассе, за исключением станций с массовым развитием малданид: на мелководных станциях разреза у ЗФИ в этом слое преобладали *Maldane sarsi, Asychis biceps, Praxillura longissima*. Очевидно, что наличие трубок *S. typicus* и малданид позволяет и другим видам проникать в более плотные слои осадков: в их отсутствие другие виды в пробах также не отмечены.

Остаток колонки (IV), обычно глубже 10-13 см, включал различные слои осадков, однако между их населением не было достоверных отличий. Единственный массовый вид в этих слоях на всей обследованной акватории – *S. typicus* – нередко проникал до глубин 31-32 см. Два вида сем. Maldanidae – *Praxillura longissima* и *Rhodine gracilior* – были массовыми в этом диапазоне на песках на мелководных станциях у ЗФИ. Еще 23 вида, главным образом полихеты из группы безвыборочных детритофагов (Maldanidae, Paraonidae), встречались в виде редких находок до глубин 15-17 см, единично до 22 см. Глубже 20 см макробеспозвоночные полностью отсутствовали более чем в 2/3 случаев.

За исключением полихет, сипункулид и цериантарий, все крупные таксоны были сосредоточены в верхних обводненных слоях (I) и (II), редко встречались в (III), а глубже

представлены единичными находками. Для нескольких групп близких видов было отмечено, что они, часто встречаясь совместно на одной станции, при этом расходятся по разным слоям. Наиболее четко это было выражено для рода *Aricidea,* представленного в пробах тремя частыми видами. Более крупные *A. hartmanae* и *A. quadrilobata* регулярно встречались в одной колонке, но никогда – в одном слое осадков. При этом мелкая *A. abranchiata* встречалась совместно с обоими. Менее выражена эта ситуация для двух видов *Maldane – M. sarsi* и *M. arctica*. Наличие в слое одного из этих видов не означало полного отсутствия другого; однако в каждом горизонте один из них резко преобладал (обычно за счет того, что был представлен крупными особями, в то время как второй – ювенильными). Аналогичная ситуация наблюдалась для четырех видов сем. Lumbrineridae. Приуроченности каждого вида к конкретному слою при этом не наблюдалось; по-видимому, здесь играли роль биотические взаимодействия (например избегание конкуренции), а не факторы среды.

При анализе распределения фауны по слоям методом DistLM наибольшая доля объясненной вариации наблюдалась при использовании индекса Gamma+ и DOMDIS (табл. 1). При этом DOMDIS для остальных факторов вообще не дал достоверных результатов. Это говорит о том, что различия между слоями значительно превышали межстанционные и были обусловлены в первую очередь выраженностью доминирования и видовым составом. При использовании DOMDIS основные различия (что отражает смену характера доминирования) были между поверхностным слоем и остальными (включая второй обводненный). С использованием Gamma+ выделялись три группы, соответствующие богатому видами поверхностному слою, двум обедненным – (II)+(III), и остатку колонки с повсеместно встречающимся *S. typicus* и немногими случайными видами. При использовании индекса Брэя-Кёртиса группировка была аналогична Gamma+, но с невысокой долей объясненной вариации. Причина этого в том, что общие колебания биомассы между станциями сравнимы с таковыми между слоями, что вносит шум в анализ вертикального распределения.

Таблица 1. Значения основных параметров для фактора “слой осадков” в DistLM-анализе при использовании различных мер сходства; (Adj R^2) усовершенствованный коэффициент детерминации; (Pseudo-F) псевдо-Фишеров критерий; (Prop.) доля объясненной вариации

Тип данных	нетрансформированные			трансформированные		
Мера сходства	Adj R^2	Pseudo-F	Prop.	Adj R^2	Pseudo-F	Prop.
Индекс Брея-Кёртиса	0.19639	9.7979	0.21871	0.13771	6.7492	0.16166
Gamma+	0.54942	44.896	0.56193	0.56292	47.364	0.57506
DOMDIS	0.72029	93.703	0.72806	0.46595	32.41	0.48079

DistLM-анализ связи распределения биоты с абиотическими факторами в каждом слое поотдельности показал, что ее характер изменялся вниз по керну (рис. 1; поскольку в анализе для типа грунта использована комплексная ранговая переменная, ее оказалось невозможно наглядно отразить на графике в виде вектора, поэтому она представлена в виде группировок станций; для числовых переменных с корреляцией с данными >0.8 связь показана в виде векторов). Связь с соленостью была недостоверной для всех слоев. Связь с температурой была значимой только в слое (I). Напротив, сила связи с характером грунта увеличивалась в нижних слоях, при этом для каждого слоя были наиболее важны разные характеристики грунта: обводненность и содержание песка для слоя (I); содержание песка, наличие крупных включений для слоя (II); вязкость/жесткость глины для слоя (III); содержание песка, вязкость/жесткость глины, наличие включений в толще и наличие плотных прослоев у верхней границы – для слоя (IV). Очевидно, что чем ниже слой, тем важнее становятся свойства,

препятствующие проникновению животных, в первую очередь прослои плотного материала.

Глубина играла роль «интегральной» переменной, аппроксимирующей в разной мере действие всех факторов. Было выделено два типа вертикального распределения фауны в толще грунта, соответствующих двум диапазонам глубин: 1) число видов и биомасса постепенно уменьшаются вниз по керну, при этом общая глубина проникновения биоты в грунт невысока – до 15-18 см (банки и кромка шельфа с глубинами <300 м, грубозернистыми осадками и придонной температурой <0°С); 2) видовое богатство и биомасса сосредоточены в верхнем обводненном слое, в остальных слоях только *S. typicus,* проникавший на максимальную глубину – 27-32 см (нижняя часть склона и дно желоба с глубинами >300 м, плотными глинистыми грунтами в нижней части колонки и температурой <0°С).

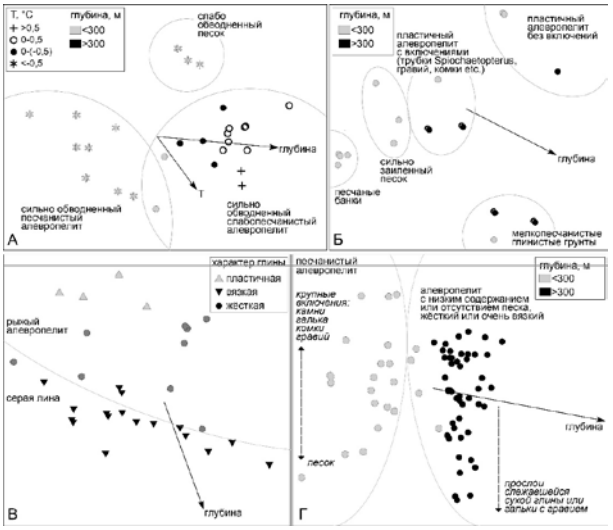


Рис. 1. Результаты DistLM-анализа связи распределения биоты с абиотическими факторами по трансформированным данным отдельно для каждого горизонта. А-слой I; Б-слой II; В- слой III; Г-слой IV;

Благодарности. Авторы благодарят В.А. Богина и В.Ю. Захарова за помощь в отборе проб, океанологический отряд экспедиции за данные по придонной температуре и солености, И.О. Нехаева за помощь в определении гастропод. Работа выполнена в рамках госзаданий ММБИ РАН (О.Л. Зимина), ИО РАН (В.Л. Семин).

Литература

Anderson M.J., Gorley A.M., Clarke K.R. PERMANOVA+ for PRIMER: guide to software and statistical methods. PRIMER-E: Plymouth, UK. 2008. – 214 p.

Caballero W., Soto E., Quiroga E. Composition and vertical distribution of metazoan meiofauna assemblages at continental shelf off central Chile // Latin American Journal of Aquatic Research. – 2017. – Vol. 43. № 5. – P. 922-935.

Clarke K.R., Gorley R.N. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth. UK, 2006. – 192 p.

Jöst A. B., Yasuharaa M., Okahashia H., Ostmannc A., Arbizuc P. M., Brixd S. Vertical distribution of living ostracods in deep-sea sediments, North Atlantic Ocean // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. – 2017. – Vol. 122. – P. 113-121.

Shivarudrappa S. K., Rakocinski C. F., Briggs K. B. Vertical distribution of macrobenthos in hypoxia-affected sediments of the Northern Gulf of Mexico: applying functional metrics // Estuaries and Coasts – 2018. – P. 1-14.

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА СВОБОДНОЖИВУЩИХ НЕМАТОД КАРСКОГО МОРЯ

Лепихина Полина Павловна[1], **Портнова Дарья Андреевна**[2]
[1]*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва*
[2]*Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, г. Москва*

Введение

Фаунистический состав Карского моря является одним из наиболее изученных среди окраинных морей Северного Ледовитого океана. Однако по разнообразию макробентоса к настоящему времени накоплено больше данных, чем по разнообразию мейобентоса, объединяющем организмы размером от 32 до 500 мкм, которые обитают между песчинками осадка [Jørgensen et al., 1999]. При этом, самая массовая группа многоклеточного мейобентоса, нематоды, изучалась эпизодически. На текущий момент существует только две публикации с указанием родового состава сообщества нематод Карского моря [Сиренко, 2001; Портнова и др., 2017].

Свободноживущие нематоды широко распространены по всему земному шару, в Арктическом бассейне они составляют около 90% общей численности многоклеточных животных мейофауны на шельфе и в батиали [Vanaverbeke et al., 1997]. Структура и состав таксоцена нематод определяются глубиной, типом грунта, содержанием доступной пищи в нём и биохимическими параметрами воды и осадка [Jørgensen et al., 1999]. В настоящее время фауна типа Nematoda Карского моря включает 84 рода, принадлежащих к 34 семействам [Сиренко, 2001; Портнова и др., 2017]. Целью нашего исследования было изучение структуры сообщества нематод на всей акватории Карского моря. В результате исследования были получены данные о количественном обилии и таксономическом составе таксоцена нематод на уровне родов и описаны изменения пространственной структуры в зависимости от параметров окружающей среды.

Материалы и методы

Материал для данной работы был получен в 63м, 66м и 76м рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» (рис. 1). Было изучено 18 станций на глубинах от 10 до 335 м по всей акватории Карского моря, а также в Обской губе и Енисейском заливе. Для сбора осадка были использованы трубка Неймисто, мультикорер Барнетта и бокс-корер.

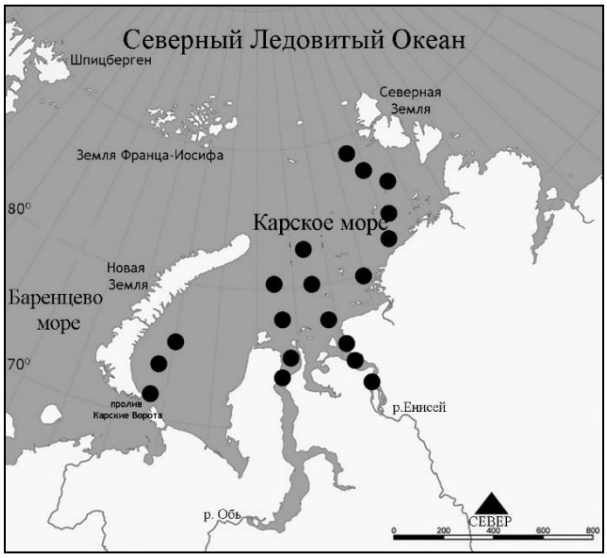


Рис. 1. Карта расположения станций. Круги обозначают районы, где были собраны пробы нематод

На каждой станции для изучения сообщества нематод было собрано по 4 пробы с помощью трубчатого пробоотборника площадью 3.14 см^2 на глубину 5 см от поверхности осадка. Осадок был зафиксирован 4% формалином, забуфференным на морской воде. На всех изученных станциях были сделаны измерения гидрологических и гидрохимических показателей. Образцы грунта для исследования гранулометрических характеристик и содержания $C_{орг}$ были собраны из тех же орудий сбора, что и пробы осадка для изучения таксоцена нематод. В лаборатории пробы были окрашены красителем «Бенгальская роза», затем промыты через сито с ячеей 40 мкм. Для извлечения организмов из проб был применён метод центрифугирования в левазил-геле при 4000 об/мин [Burgess, 2001]. Нематоды были заключены в постоянные глицериновые препараты с парафиновым кольцом. Из каждой пробы было отобрано по 100 – 200 особей для идентификации до уровня рода. Статистические расчеты проводились при помощи пакетов программ PAST [Hammer, 2001] и PRIMER 5.2.4.

Результаты и обсуждение

Всего было установлено 106 родов нематод, принадлежащих к 34 семействам. Число родов на станцию варьировало от 11 до 49. Наиболее богаты родами семейства Xyalidae (15 родов) и Chromadoridae (10 родов). Анализ пространственного распределения числа родов показал увеличение разнообразия в направлении от опреснённой зоны эстуария через шельф в сторону батиали моря. Это подтверждают более низкие показатели родового разнообразия (индекс видового богатства Шеннона и индекс выравненности распределения обилия видов) на мелководных станциях залива и эстуария. Ожидаемое количество родов соответствует реальному для большинства станций (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика сообщества нематод в различных зонах моря. Опреснённая зона эстуария и эстуарий представлены станциями, собранными в Обской губе и Енисейском заливе; батиаль представлена станциями из Новоземельской впадины, Карских ворот и желоба Воронина

	Станция	Глубина (м)	Число родов	Индекс Шеннона	Индекс Пиелу	Выравненность
Опреснённая зона эстуария	5342	12	18	2.15	0.48	0.74
	5344	10	20	1.7	0.27	0.57
	6251	13.32	11	1.85	0.58	0.77
	6254	18.44	13	1.66	0.42	0.65
Эстуарий	6242	31	15	2.27	0.63	0.83
	6244	22.83	11	1.52	0.41	0.63
Шельф	6240	37	27	2.87	0.65	0.87
	6241	27.5	27	2.92	0.69	0.89
	5232	52	14	2.32	0.72	0.88
Батиаль	5236	90	39	2.84	0.44	0.78
	5237	125	38	3.00	0.53	0.83
	5238	108	42	3.03	0.49	0.81
	5239	241	45	3.04	0.47	0.80
	5240	301	49	3.05	0.43	0.78
	5241	335	44	3.17	0.54	0.84
	5394	330	27	2.89	0.66	0.88
	5403	224	37	3.05	0.57	0.84
	5404	161	21	1.95	0.33	0.64

Метод главных компонент, основанный на данных об окружающей среде, показал, что главными факторами являются солёность (48.7%) и концентрация растворённого кислорода (28.7%). В районе Обско-Енисейского мелководья происходит формирование опреснённого слоя вследствие речного стока и таяния льда. Акватория эстуариев двух рек и прилегающих районов шельфа (6240, 6241, 6242, 5232) подвержена конвективному перемешиванию, которое служит механизмом распространения низких значений солёности на придонные горизонты. Станции, собранные в опреснённой зоне эстуария (5342, 5344, 6251, 6254) и на более мористой станции (6244) сильно различаются по параметрам среды (рис. 2). На этих станциях разнообразие нематод низкое, часто можно выделить доминирующий род в таксоцене. Богатое и выровненное сообщество нематод можно наблюдать в батиали Карского моря.

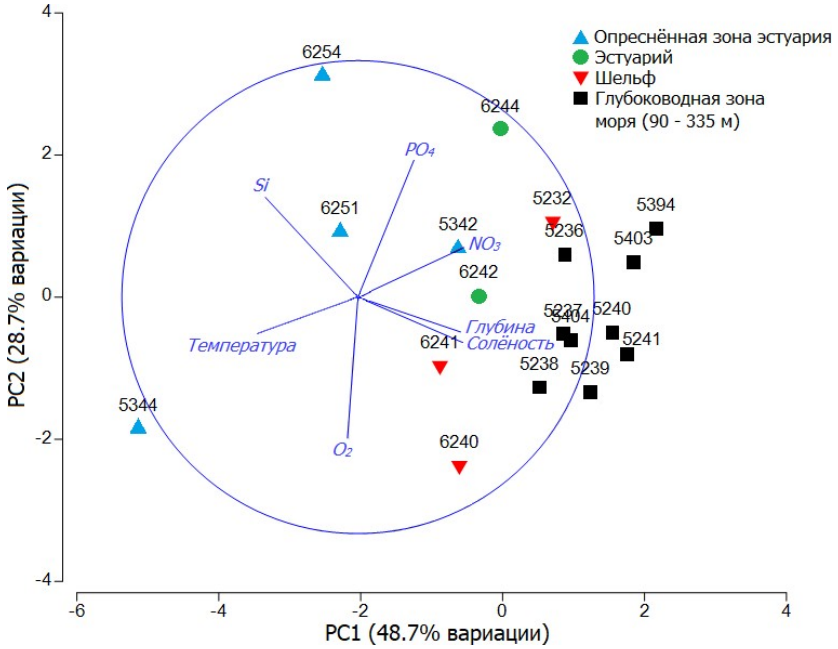


Рис. 2. Метод главных компонент, основанный на параметрах среды (глубина; солёность; температура (°C); O_2 – концентрация кислорода (%); Si – содержание кремния; PO_4 – содержание фосфатов; NO_3 – содержание нитратов)

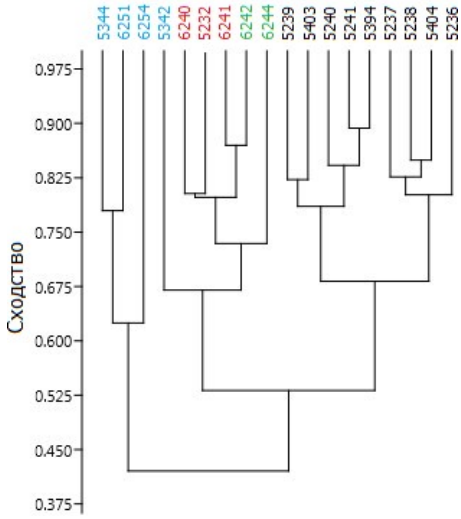


Рис. 3. Дендрограмма сходства родового состава нематод на всех станциях в акватории Карского моря. Голубой цвет – опреснённая зона эстуария; красный – шельф; зелёный – эстуарий; чёрный – батиаль

Сравнение родового состава нематод на всех исследованных станциях методом кластерного анализа с использованием в качестве меры сходства индекс Брея-Кёртиса показало разделение нематод на три группы (рис. 3). Первая группа – станции, расположенные в Обь-Енисейском мелководье, вторая группа – станции шельфа и эстуария, третья группа – станции в батиали. Внутри второй группы выделяется мелководная станция 5342, расположенная в Енисейском заливе. Во время сбора проб с данной станции влияние речного стока было низким, солёность и температура были ближе к морским, что сказалось на таксоцене нематод присутствием родов, характерных для морских сообществ.

Применение канонического анализа показало, что наибольшее влияние на сообщество нематод оказывает содержание органики в осадке (38%) и гранулометрический состав грунта (25%) (рис. 4).

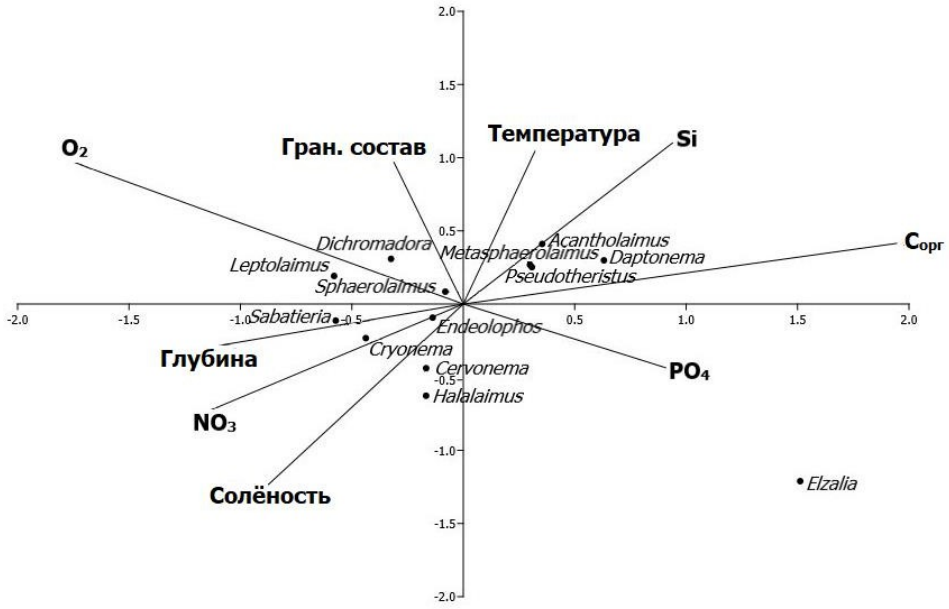


Рис. 4. Ординация методом канонического анализа. Векторами обозначены факторы среды: глубина; солёность; температура (°С); гран. состав – гранулометрический состав грунта; $C_{орг}$ – содержание органического вещества в осадке; O_2 – концентрация кислорода в придонной воде (%); Si – содержание кремния; PO_4 – содержание фосфатов; NO_3 – содержание нитратов. Чёрные круги – массовые роды нематод

Список литературы:

Портнова Д.А., Гарлицкая Л.А., Удалов А.А., Кондарь Д.В. Мейобентос и сообщество нематод Енисейского залива и прилегающего шельфа Карского моря // Океанология, 2017. Т. 57 (1). С. 1 – 15.

Сиренко Б.И. Список видов свободноживущих беспозвоночных евразийских морей и прилежащих глубоководных частей Арктики // Зоологический институт РАН, 2001. 131 с.

Burgess R. An improved protocol for separating meiofauna from sediments using colloidal silica sols // Marine Ecology Progress Series, 2001. V. 214. P.161 – 165.

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. Paleontological statistics – PAST. University of Oslo, 2003. http://folk.uio.no/ohammer/past/. Accessed 03 April 2008

Jørgensen L.L., Pearson T.H., Anisimova N.A., Gulliksen B., Dahle S., Denisenko S.G., Matishov G.G. Environmental influences on benthic fauna associations of the Kara Sea (Arctic Russia) // Polar Biology, 1999. https://doi.org/10.1007/s003000050435.

Vanaverbeke J., Soetaert K., Heip C., Vanreusel A. The metazoan meiobenthos along the continental slope of the Goban Spur (NE Atlantic) // Journal of Sea Research, 1997. V. 38. P. 93 – 107.

ДОННЫЕ БИОЦЕНОЗЫ АЗОВСКОГО МОРЯ НА ПИКЕ СОВРЕМЕННОГО ОСОЛОНЕНИЯ

Живоглядова Любовь Александровна, Фроленко Людмила Николаевна, Афанасьев Дмитрий Федорович
Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону

Введение

С 2007 г. экосистема Азовского моря функционирует в условиях значительного осолонения, обусловленного прогрессирующим снижением материкового стока и увеличением объема поступления компенсационных потоков из Черного моря. В настоящее время большую часть собственно моря на всех горизонтах занимают воды с соленостью 13-14 ‰, в Таганрогском заливе соленость достигает 12,2 ‰. В этих условиях наблюдается смещение границ основных фаунистических районов, а также перестройка структуры донных биоценозов.

Работа посвящена анализу донной фауны в современный период, выделению и характеристике основных биоценозов.

Данные и методы

В работе использованы материалы комплексных съемок, проводившихся Азово-Черноморским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») в Азовском море в 2015-2019 гг. в осенний период.

Ввиду работы с борта судов, район исследований по периметру моря был ограничен изобатой 2.9 м. В качестве орудия отбора проб бентоса использовали дночерпатель Петерсена с площадью захвата 0.1 м^2. Пробы отбирали в двух повторностях. Первичную обработку проб осуществляли на борту судна, промывку бентоса вели через два сита, верхнее – с диаметром ячеи 5 мм и нижнее – 0.3 мм (газ № 23). За съемку выполняли 32-34 станции.

При выделении биоценозов классификацию станций проводили по индексу ценотического сходства на основе относительной биомассы видов. Статистическая обработка данных выполнена в программе PAST (Hammer, 2012).

Результаты

Кластеризация бентосных станций по индексу ценотического сходства позволила выделить в акватории Азовского моря 11 биоценозов.

При уровне сходства менее 5 % станции делятся на две группы, первая из которых объединяет станции собственно моря и осолоненной западной части Таганрогского залива и включает 9 кластеров соответствующих биоценозам: «*Anadara kagoshimensis»*, «*Cerastoderma glaucum»,* «*Amphibalanus improvisus»*, «*Mytilaster lineatus», «Hydrobia* spp.*»*, «*Mytilus galloprovincialis»* и «*Mya arenaria»*; вторая группа объединяет станции центральной и восточной частей Таганрогского залива и включает 4 кластера – биоценозы «*Alitta succinea»*, «Oligochaeta», «Chironomidae» и «*Marenzelleria neglecta»*.

В настоящее время, наиболее распространенными в собственно море являются биоценозы «*Anadara kagoshimensis*» (частота встречаемости 30 %) и «*Cerastoderma glaucum»* (27 %).

Биоценоз «*Anadara kagoshimensis»* широко распространен по всей акватории собственно моря, включая его центральную часть. Биоценоз насчитывает до 48 таксонов донных организмов. Высокое видовое разнообразие характерно для полихет (17 таксонов) и

брюхоногих моллюсков (10). Биомасса беспозвоночных изменяется в диапазоне от 14,9 до 4371,8 г/м^2, в среднем составляет 852,9±90,5 г/м^2. Численность варьирует от 1255 до 62320 экз./м^2, при среднем значении 13209±1424 экз./м^2.

На долю доминирующего вида приходится 80 % общей биомассы сообщества. В ядро сообщества наряду с *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) входит аборигенный моллюск *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789), его доля в общей биомассе сообщества на порядок ниже и составляет 9 %. Массовыми видами являются усоногие раки *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854) (частота встречаемости – 84 %). Еще 4 вида полихет (*Polydora cornuta* Bosc, 1802, *Heteromastus filiformis* (Claparède, 1864), *Alitta succinea* (Leuckart, 1847), *Nephtys hombergii* Savigny in Lamarck, 1818), малощетинковые черви и брюхоногие моллюски *Hydrobia* spp. характеризуется частой встречаемости 52 – 77 % и являются обычными представителями биоценоза.

Биоценоз *«Cerastoderma glaucum»* характерен для восточного района собственно моря и западной части Таганрогского залива. Насчитывает 58 таксонов, среди систематических групп по числу видов лидируют полихеты (16) и ракообразные (15). Пределы колебания биомассы донных беспозвоночных в биоценозе церастодермы укладываются в диапазон от 3,8 до 1060,5 г/м^2, в среднем составляют 312,5±32,5 г/м^2. Численность варьирует от 730 до 81545 экз./м^2, в среднем – 15421±1800 экз./м^2.

Ядро рассматриваемого биоценоза формирует моллюски *C. glaucum* (72 % общей биомассы сообщества) и *Hydrobia* spp. (9 %). Обычными видами с частотой встречаемости от 50 до 74 % являются полихеты *N. hombergii, A. succinea, H. filiformis*, олигохеты, усоногие раки *A. improvisus* и роющие актинии сем. Edwardsiidae.

Три биоценоза, распространенные в собственно море, являются сравнительно редкими и имеют частоту встречаемости 4-6 %. Это биоценозы: «*Hydrobia* spp.», *«Mytilaster lineatus»*, *«Amphibalanus improvisus»*.

Биоценоз «*Hydrobia* spp.» отмечен в центральной части моря, характеризуется небольшим количеством видов – до 26, лидируют полихеты (9 таксонов) и двустворчатые моллюски (6). Биомасса донных беспозвоночных варьирует от 2,2 до 83,6 г/м^2, в среднем составляет 18,8±2,7 г/м^2. Численность изменяется от 1595 до 38800 экз./м^2, при средней – 12595±1546 экз./м^2.

В ядро сообщества входят *Hydrobia* spp. и *N. hombergii*, суммарно эти виды формируют 70 % общей биомассы сообщества. Массовыми являются малощетинковые черви (частота встречаемости 80 %), обычными – актинии сем. Edwardsiidae (50 %).

Биоценозы *«Mytilaster lineatus»* и *«Amphibalanus improvisus»* типичны для плотных грунтов восточной части моря. Биоценоз *«Mytilaster lineatus»* насчитывает 28 таксонов, наиболее разнообразно представлены полихеты (10), двустворчатые моллюски (7) и ракообразные (6). Пределы колебания биомассы донных беспозвоночных в биоценозе метилястра укладываются в диапазон от 41,2 до 985,0 г/м^2, в среднем составляют 453,8±49,7 г/м^2. Численность варьирует от 1140 до 32220 экз./м^2, в среднем достигает 11267±1442 экз./м^2.

Доминирующий вид формирует 69 % общей биомассы сообщества. В ядро сообщество также входят *A. improvisus* и *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819. Высокой частотой встречаемости (60-70 %) характеризуются моллюски *C. glaucum* и *A. kagoshimensis.* Обычны для этого биоценоза полихеты *Harmothoe imbricata* (Linnaeus, 1767), *H. filiformis, A. succinea, N. hombergii,* брюхоногие моллюски *Hydrobia* spp. и *Retusa truncatula* (Bruguière, 1792), ракообразные *Microdeutopus gryllotalpa* Costa, 1853 и турбеллярия *Stylochus* sp.

В составе биоценоза *«Amphibalanus improvisus»* отмечен 31 таксон, наиболее разнообразно представлены полихеты (10) и ракообразные (10). Диапазон изменения биомассы донных беспозвоночных в биоценозе амфибалянуса достаточно широкий – от 10,5 до 2201,1 г/м^2, в среднем – 410,7±77,5 г/м^2. Численность варьирует от 1660 до 10920 экз./м^2, в среднем достигает 5522±592 экз./м^2.

Усоногие раки формируют 68 % общей биомассы сообщества. Около 9 % приходится на *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791). Массовыми видами в биоценозе усоногих раков являются черви – многощетинковые *A. succinea* и Oligochaeta (группа видов). Обычны для биоценоза моллюски *C. glaucum*, полихеты *H. diversicolor* и *H. filiformis*, ракообразные *M. gryllotalpa*.

В Таганрогском заливе в центральной части распространен биоценоз *«Alitta succinea»* (12 % от общего числа станций). В его составе насчитывается до 22 таксонов, лидируют по числу видов полихеты (9), ракообразные (8). Пределы колебания биомассы донных беспозвоночных укладываются в диапазон от 2,7 до 88,4 г/м^2, в среднем составляют 32,6±3,6 г/м^2. Численность варьирует от 560 до 110020 экз./м^2, в среднем достигает 14246±2496 экз./м^2.

A. succinea формирует 54 % общей биомассы сообщества. В роли субдоминантов отмечены полихеты *H. diversicolor* (16 %) и *Marenzelleria neglecta* Sikorski & Bick, 2004 (11 %). В ядро сообщества также входят *Streblospio gynobranchiata* Rice & Levin, 1998 (3 %), Oligochaeta (3 %) и *A. improvisus* (5 %).

Заключение

На пике современного осолонения характерный для Азовского моря концентрический рисунок расположения биоценозов не выражен. Отсутствуют биоценозы *«Lentidium mediterraneum», «Abra segmentum»*. Юго-западную и центральную часть моря занимает биоценоз вида-вселенца анадары, который постепенно вытесняет биоценозы аборигенных моллюсков *Hydrobia* spp. и *C. glaucum*. Перечисленные виды аборигенных моллюсков занимают в биоценозе анадары положение субдоминантов.

Список литературы

Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне. Краснодар. – 2005. – 352 с.

Hammer Ø. Paleontological Statistics, Version 2.17. Reference Manual. Natural History Museum, university of Oslo. – 2012. – 229 p.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОЯСНЫХ СООБЩЕСТВ ЧЕРНОГО МОРЯ

Семин В.Л., Колючкина Г.А., Чикина М.В., Басин А.Б.
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва 117997 galka.sio@gmail.com

Изменения климата, антропогенная эвтрофикация, загрязнение вод и вселение новых видов стали ключевыми факторами изменений Азово-Черноморской экосистемы начиная со второй половины XX века. Поэтому карты распределения биоты и параметров среды, созданные в начале и середине XX в., в значительной мере устарели, что обусловило актуальность создания атласа, отражающего современное состояние среды и биоты Азово-Черноморского региона (Атлас, 2019). В настоящей работе приводятся материалы, вышедшие за рамки Атласа – описание современного состояния поясных сообществ Черного моря в начале XXI века по собственным и литературным материалам (Повчун, 1992; Revkov et al., 2008; Sergin, 2008; Козловский и др., 2008; Чикина, 2009; Zolotarev, Terentyev, 2012; Кучерук и др., 2012; Ревков и др., 2015; Загорская, 2014; Todorova et al., 2017; Селифонова, Часовников, 2017; Самышев, Золотарев, 2018; Фроленко и др., 2019; Stevens et al., 2019; Колючкина и др., 2020). Количественные характеристики сообществ приводятся на основании базы данных ИО РАН 2000-2020 гг.

Анализ литературы и количественных данных по северо-восточному побережью Черного моря позволил выделить закономерности пространственной структуры и динамики бентоса, не учитываемые традиционными методами: (1) различающиеся по доминантам участки одного биотопа могут быть населены «мгновенными срезами» одного и того же сукцессионного ряда (применимо для случаев с известной сукцессионной динамикой); (2) мозаичность сама по себе может являться характерной чертой сообщества; (3) различия между выделами имеют разный масштаб, который логично описывать в виде иерархии.

Для биоты Черного моря мы предлагаем рассмотрение трех иерархических уровней. **Фаунистический комплекс** - общий пул видов, характерных для определенного диапазона лидирующих факторов, из которого в конкретных биотопах формируются соответствующие сообщества. **Сообщество** имеет характерный видовой состав и структуру доминирования, являющиеся результатом совместного действия биотических связей и характеристик биотопа: сообществу соответствует конкретный биотоп, что дает возможность установить связь между их особенностями. Различные **вариации сообщества** населяют одинаковые биотопы, имеют сходный видовой состав и количественную структуру, но обладают устойчивыми различиями в составе доминантов (вышеупомянутые «мгновенные срезы»).

Прибрежный комплекс рыхлых грунтов, наиболее трансформировавшийся в конце XX-начале XXI в. из-за антропогенной эвтрофикации, загрязнения и вселения новых видов, с начала 2000-х гг. и по настоящее время устойчиво разделился на сообщества чистого и заиленного венусового песка (двустворчатый моллюск венус, *Venus gallina,* – устаревшее название основного доминанта сообщества – *Chamelea gallina*).

Сообщество *чистого венусового песка* (глубины 10-15 м) включало две вариации. Первая – классический венусовый песок, не претерпевший изменений в связи с заиливанием, с высокой степенью доминирования *C. gallina* (примерно на один порядок превосходящий другие виды по биомассе). При высокой мозаичности количественных показателей, характеризуется постоянным составом характерных видов (при типичной биомассе 106±174

г/м^2 и числе видов 13±6, были отмечены области, где отмечено всего 4-5 видов макрозообентоса и с биомассой хамелеи до 80 г/м^2, а также области, где найдено 10-12 видов при биомассе хамелеи менее 10 г/м^2). Вторая вариация – при видовом составе классического венусового песка, *C. gallina* кодоминировала с двустворчатыми моллюсками *Lucinella divaricata* и *Donax semistriatus,* реже становилась второстепенным видом, а в 1% случаев выпадала совсем. Здесь характерной чертой биоценоза также была высокая мозаичность количественных характеристик макрозообентоса, так, при типичной биомассе 19±45 г/м^2 и числе видов 15±6, были районы всего с 3-5 видами (*L. divaricata. D. semistriatus* и пр.) и с 15-20 видами, но биомассой порядка нескольких грамм или долей грамма на м^2.

Сообщество *заиленного венусового песка* (глубины 20-35 м) отличалось доминированием трех видов – *C. gallina-Gouldia minima-Pitar rudis.* Здесь типичен большой разброс биомасс (4±176 г/м^2); характерное число видов на станцию сходно с таковым вариации *C. gallina-L. divaricata-D. semistriatus* – 15±7. Этот биоценоз имел характер фактически непрерывного поясного сообщества на глубинах 20-35 м; доля хамелеи здесь была сильно снижена, в крайних вариантах она могла отсутствовать; тогда доминирующая роль полностью переходила к более пелофильным *G. minima* и *P. rudis* (реже *Spisula subtruncata*). При этом мозаичность количественных показателей была еще выше, чем в чистом венусовом песке, крайние значения биомассы составляли от 0,02 до 3500 г/м^2.

Прибрежный комплекс жестких грунтов включает сообщество *скал и камней*, где отмечаются обрастания *Chtamalus* spp. на урезе воды (Болтачева и др., 2015), фауна булыжниковых россыпей уреза воды (с доминированием *Gibbula* spp.-*Pachygrapsus marmoratus*-Actiniaria gen. spp..), а также разнообразные и многоярусные сообщества *биотопа макрофитов и щеток скальной мидии* (характерны мшанки, гидроиды, полихеты – *Platynereis* sp., Syllidae g. spp., Spirorbidae g. spp.; Amphipoda g. spp., Decapoda g. spp.). Основная биомасса зообентоса продуцируется двумя видами – *Mytilus galloprovincialis* и *Mytilaster lineatus*.

Биоценоз ильной мидии (глубины 25-50 м), один из основных в XX в., претерпел наибольшие изменения. В островках ненарушенного сообщества биомасса бентоса достигала 326 г/м2 (66,48±80,85 г/м^2), а число видов 42 (22±9). Во многих районах произошло снижение численности и биомассы основного доминанта – *Mytilus galloprovincialis* вплоть до полного его выпадения. На северо-западе Черного моря в результате эвтрофирования и ухудшения кислородного режима образовались обширные области нарушенного сообщества, где мидия входила в состав доминантов, но ее биомасса сильно снижена. И наконец, во многих областях северо-западного, северо-восточного и южного секторов Черного моря было отмечено трансформированное сообщество мидии без *M. galloprovincialis* с доминированием полихеты-оппортуниста *Melinna palmata* с высокой степенью доминирования и низким разнообразием.

Комплекс сообществ, располагающихся ниже сезонного термоклина на глубинах 50-120 м в сравнительно постоянных гидрологических условиях, включал кроме классического фазеолинового ила *сообщество Parvicardium simile.* Последнее занимало значительную часть диапазона глубин, ранее относившегося к мидиевому илу (40-70 м), но, по-видимому, не является его производной, т.к. населено пелофильными видами из комплекса фазеолинового ила и биоценоза *C. gallina-G. minima-P. rudis*. Биомассы здесь не превышали 128 г/м^2 (9,99±21,67 г/м^2) при числе видов 18±6.

Фазеолиновый ил (глубины 50-130 м, до 200 м в прибосфорском районе) – единственное поясное сообщество, практически не претерпевшее за последние 50 лет изменений, что связано со снижением влияния эвтрофикации с глубиной. Здесь биомассы бентоса достигали

829 г/м^2 (71±183 г/м^2), а число видов 26 (13±6). Здесь мозаичность сообществ также чрезвычайно высока, что определяется мозаичностью биотопа: по наблюдениям из подводных аппаратов у берегов Крыма и Кавказа он представляет собой чередование гряд, полей и пятен двустворчатого моллюска *Modiolula phaseolina*, перемежающееся пространствами с минимальным количеством этих моллюсков (Заика, Сергеева, 2001; Sergeeva, 2016). В грядах фазеолины наблюдалась высокая степень доминирования этого вида и меньшее число видов на станции (менее 10), при этом биомасса достигала 850 г/м^2. В междугрядиях число видов повышалось до 13±6, но биомасса снижалась до долей г/м^2 за счет выпадения фазеолины. В этом биоценозе было отмечено три вариации – собственно сообщество фазеолины, биоценоз асцидии *Ctenicella appendiculata* (характерен для северо-западной части бассейна) и обедненный глубоководный биоценоз (иногда рассматриваемый как нижний горизонт фазеолинового ила). В последнем с увеличением глубины (80-130 м), по мере падения содержания кислорода и увеличения частоты и продолжительности подъемов аноксийных вод, сообщество фазеолины становилось беднее, основной доминант постепенно выпадал, а на первые позиции выходили характерные виды этого сообщества, толерантные к гипоксии (*Terebellides* cf. *stroemii, Melinna palmata, Amphiura stepanovi, Aricidea claudiae,* Oligochaeta spp., Capitellidae spp.) Глубже, в районе Кавказа на 130 м, где отмечались регулярные затоки глубжележащих сероводородных вод, это сообщество сменялось эфемерным сообществом зоны регулярных заморов, представленное 1-3 видами, толерантными к аноксии и сероводороду (*Aricidea claudiae*, Oligochaeta spp., Capitellidae spp.), а биомасса не превышала сотых долей г/м^2.

Кроме того, был отмечен ряд локальных биоценозов, не относящихся к поясным сообществам. Расположенные в основном в прибрежной зоне, они занимают площади, несравнимые с площадями основных поясных сообществ: сообщество *Hydrobia* sp.-*Abra segmentum-Hediste diversicolor* в северо-западной части Черного моря аналог замороустойчивого биоценоза центра Азовского моря, приуроченный к опресненным кутам заливов и лиманам с высокой эвтрофированностью и частыми заморами; биоценоз *Upogebia pusilla-Anadara kagoshimensis,* отмеченный на Гудаутской банке и в Геленджикской бухте; биоценоз *Loripes orbiculatus* на заиленном песке с дерновиной морских трав в бухтах и заливах и некоторые другие.

Заключение.

В современный период в Черном море сохраняется поясная структура сообществ. После периода эвтрофикации конца XX в. донные экосистемы постепенно приходят к равновесию. Однако, несмотря на сообщения о восстановлении сообществ (Stevens et al., 2019), современная структура сообществ – это новое равновесное состояние, отличное от начала-середины XX в. из-за продолжающегося заилению грунтов, вселения новых видов и продолжающегося изменения климата.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Министерства образования Краснодарского края № 19-45-230012.

Список литературы

Загорская А.С. Макрозообентос рыхлых грунтов северо-восточной части Черного моря (Джубга–Кудепста)// Известия Вузов. Северо-Кавказский Регион. Естественные науки. 2014. № 3. С. 64-71.

Козловский В.В., Кучерук Н.В., Чикина М.В., Басин А.Б. Современное состояние и многолетняя динамика сообществ макрозообентоса рыхлых грунтов Керченского

предпроливья Чёрного моря // Материалы конференции Беломорской Биологической станции МГУ (Кирпичников М.Р.) Тула: Гриф и К, 2008. С.64-69.

Колючкина Г.А., Семин В.Л., Григоренко К.С., Басин А.Б., Любимов И.В. Роль абиотических факторов в вертикальном распределении макрозообентоса северо-восточного побережья Черного моря // Зоологический журнал. Т. 99, № 7, с. 784–800.

Кучерук Н.В., Флинт М.В., Максимова О.В., Чикина М.В., Симакова У.В. Современная динамика бентосных сообществ северо-восточного шельфа Черного моря. Изменение природной среды России в XX веке. Котляков В.М., Люри Д.И., отв. ред. Москва, Молнет, 2012, с. 274-288.

Повчун А.С. Изменения донных сообществ Карникитского залива. Многолетние изменения зообентоса Черного моря. Заика В.Е., ред. Киев, Наукова думка, 1992, с .105-138.

Ревков Н.К., Болтачёва Н.А., Бондарев И.П., Бондаренко Л.В., Тимофеев В.А. Состояние зооресурсов бентали глубоководной зоны шельфа Крыма после кризиса черноморской экосистемы второй половины XX века (по данным экспедиционных исследований 2010 г. на НИС «Профессор Водяницкий»). 100 лет Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского : сборник научных трудов. Гаевская А.В., Морозова А.Л., ред. Симферополь, Н. Оріанда, 2015, с. 549–571.

Самышев Э.З., Золотарев П.Н. Механизмы антропогенного воздействия на бенталь и структуру донных биоценозов северо-западной части Черного моря. Севастополь, ООО «Колорит», 2018, 208 с.

Селифонова Ж.П., Часовников В.К., 2017. Экологическое состояние зообентоса прикавказской зоны Черного моря (район Джубга – Хоста)//Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. Т. 10. № 30. С. 109-118.

Чикина М.В. 2009. Макрозообентос рыхлых грунтов Северо-Кавказского побережья Черного моря: пространственная структура и многолетняя динамика. Автореф. дисс. … канд. биол. наук. М.: ИО РАН. 26 с.

Фроленко, Л. Н., Живоглядова, Л. А., Ковалев, Е. А. (2019). Результаты исследований зообентоса северо-восточной части Черного моря по данным 2016-2017 гг. Водные биоресурсы и среда обитания, 2(4), 85-97.

Revkov N., Abaza V., Dumitrache C., Todorova V., Konsulova T., Mickashavidze E., Varshanidze M., Sezgin M., Ozturk B, Chikina M.V., Kucheruk N.V. 2008. The State Of Zoobenthos In Bsc, 2008. State of the Environment of the Black Sea (2001-2006/7). Publications of the Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (BSC) 2008-3. Istanbul. 448 pp.

Stevens, T., Mee, L., Friedrich, J., Aleynik, D., & Minicheva, G. (2019). Partial recovery of macro-epibenthic assemblages on the north-west shelf of the Black Sea. Frontiers in Marine Science.

Todorova V., Dimitrov L., Doncheva V., Trifonova E., Prodanov B. (2017) Benthic Habitat Mapping in the Bulgarian Black Sea// Ozhan E. (Editor), 2015, Proceedings of the Twelfth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST’15, 06-10 October 2015, Varna, Bulgaria, MEDCOAST, Mediterranean Coastal Foundation, Dalyan, Mugla, Turkey, vol. 1, pages 251- 262

Zolotarev P.N., A.S. Terentyev (2012) Changes in the Macrobenthic Communities of the Gudauta Oyster Bank// Oceanology, 2012, Vol. 52, No. 2, pp. 231–237.

МАСШТАБЫ МОЗАИЧНОСТИ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА СУБЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОСТЕРЫ В ТАМАНСКОМ ЗАЛИВЕ

Любимов Иван Викторович, Колючкина Галина Антоновна, Мокиевский Вадим Олегович

Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, 117997

Введение

Несмотря на широкую изученность сообществ макрозообентоса Азово-Черноморского бассейна, закономерности распределения придонных сообществ, остаётся актуальной. Многими авторами отмечено, что разные факторы, определяющие структуру сообществ, имеют значение для определённых масштабов пространства (Butman, 1987; Thrush, 1999). Особенный интерес с точки зрения масштабов, в которых работают отдельные факторы представляют собой сообщества с ярко выраженным эдификаторным видом. В настоящей работе было проведено исследование закономерностей пространственной организации сообщества бентосной фауны Таманского залива в биоценозе морской травы *Zostera marina L.* и факторов их определяющих в нескольких пространственных масштабах.

Данные и методы

Отбор проб макрозообентоса проводили в прибрежной зоне Таманского залива (2.7-3.0 м) Азовского моря в июле 2009 г. (рис. 1) с использованием метода треугольных полигонов с изменением масштаба взятия образцов (рис. 2). Для этого использовали ручной трубчатый пробоотборник с площадью захвата 0.0095 м^2 (трёхкратная повторность на пробу), последующей промывкой через сито (d=0.5 мм) и фиксацией 4% раствором формальдегида в морской воде (3 повторности на станцию). Подземные побеги и корни вида-эдификатора (*Z. marina*) отделяли и после высушивания (до постоянного веса при 80°C) взвешивали с точностью 0,001 г. В каждой пробе определяли численность и биомассу (воздушно-сухой вес) макрозообентоса (в настоящее время обработаны группы Mollusca, Tunicata, Nemertea, Phoronidae, Plathelminthes, Crustacea) с точностью до 0,001 г.



Рис. 1. Район отбора проб.

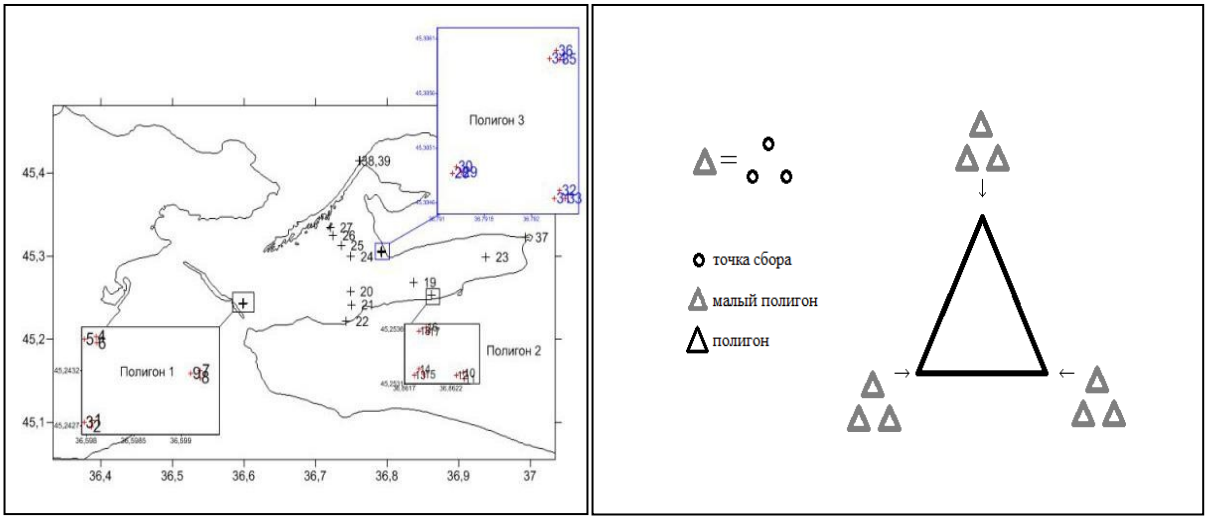


Рис. 2. Схема отбора проб (А) и схема треугольных полигонов (Б), где станции – углы треугольников.

Статистическую обработку проводили попробно в программе Primer v.6.1, Statistica 12.5 и пакете R ade4. Для функционального анализа использовали стандартный набор функций и их модальностей (Kokarev et al., 2017).

Результаты и обсуждение

Анализ содержания органического углерода ($C_{орг}$) на полигонах показал, что первый полигон имеет намного меньшие значения этого параметра (0.38±0.2%) при низком разбросе данных, а полигоны 2 и 3 по содержанию органического углерода отказались сходными (1.19±0.63% на полигоне 2 и 1.48±0.56% на полигоне 3). На полигонах отличался и гранулометрический состав грунта: для 2 и 3 полигонов характерным грунтом является слабозаиленный песок с большим количеством ракуши, для полигона 1 – заиленный песок практически без ракуши (рис. 3). Это может быть связано с более интенсивной гидродинамикой в районе полигона 1, расположенном на косе Тузла близ промоины, где отмечались сильные течения (Ломакин и др., 2012).

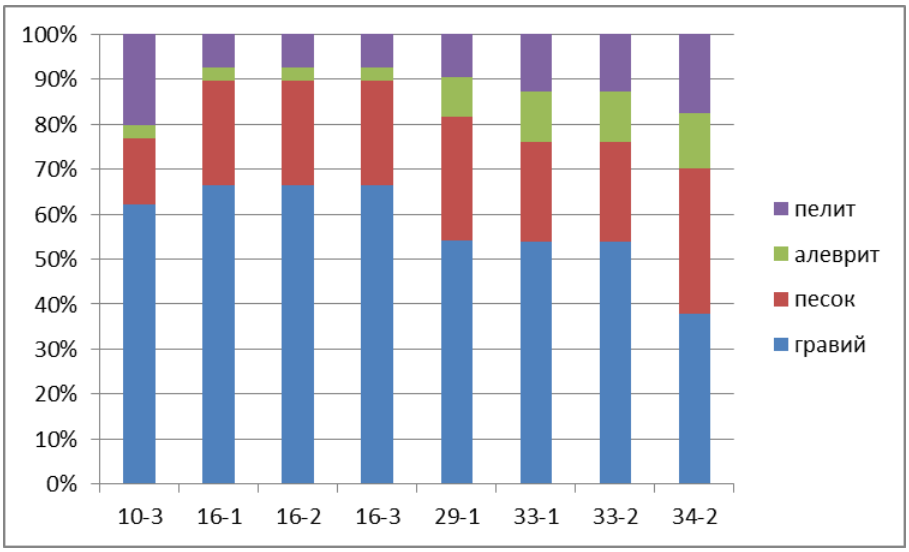


Рисунок 3. Гранулометрический состав грунта на станциях полигонов 2 и 3

В 2009 г. число видов макрозообентоса в Таманском заливе в поясе зостеры на полигонах 2 и 3 составляло от 6 до 11 на станцию (всего 14). Всего было отмечено 13 видов и крупных таксонов макрозообентоса. Суммарная численность макрозообентоса на станции составляла от 520 экз/м^2 на станции 29 до 2470 экз/м^2 на станции 10, биомасса – от 1,37 г/м^2 на станции

29 до 66,94 г/м^2 на станции 16. Ординация станций методом многомерного шкалирования показала, что по биомассе станции группировались вне зависимости от глубины и района (рис. 4), что подтверждается анализом Permanova (P(perm)>>0.001). По биомассе и численности было выделено 3 сообщества с доминантами: *Mytilus galloprovincialis, Mytilaster lineatus* и *Abra segmentum*. Анализ стандартизированных биомасс таксонов макрозообентоса методом DistLM показал корреляцию лишь с гранулометрическим составом, содержание $C_{орг}$ оказывала меньшее влияние, а площадь проективного покрытия высших растений не показала достоверной связи с имеющимися данными. Сообщества *M.galloprovincialis, M.lineatus* и *A.segmentum* встречались только на грунтах, где преобладала пелитовая фракция на песках с ракушью.

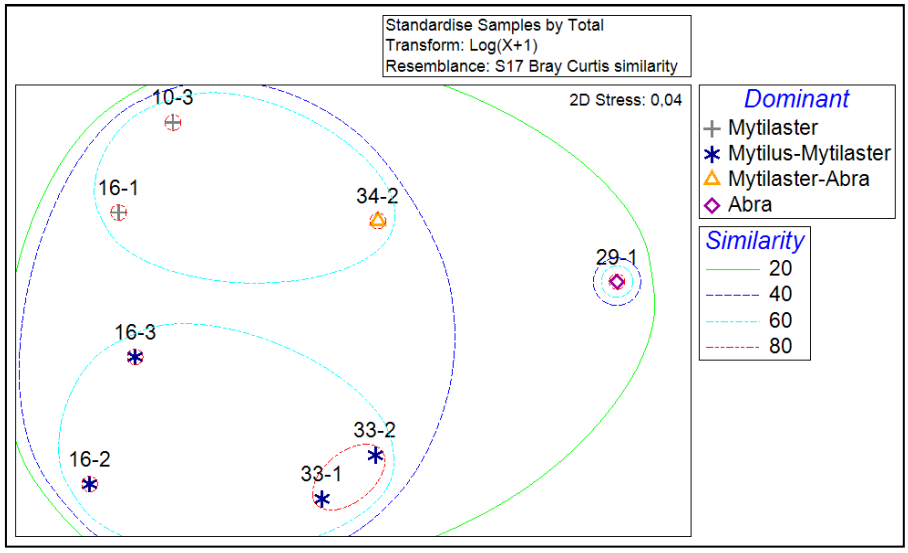


Рисунок 4. Ординация станций методом многомерного шкалирования по биомассе.

Анализ функциональной структуры сообществ Таманского залива по биомассе (стандартизированной и трансформированной) показал, что первые две оси объясняли 84,76% изменчивости данных (рис. 5).

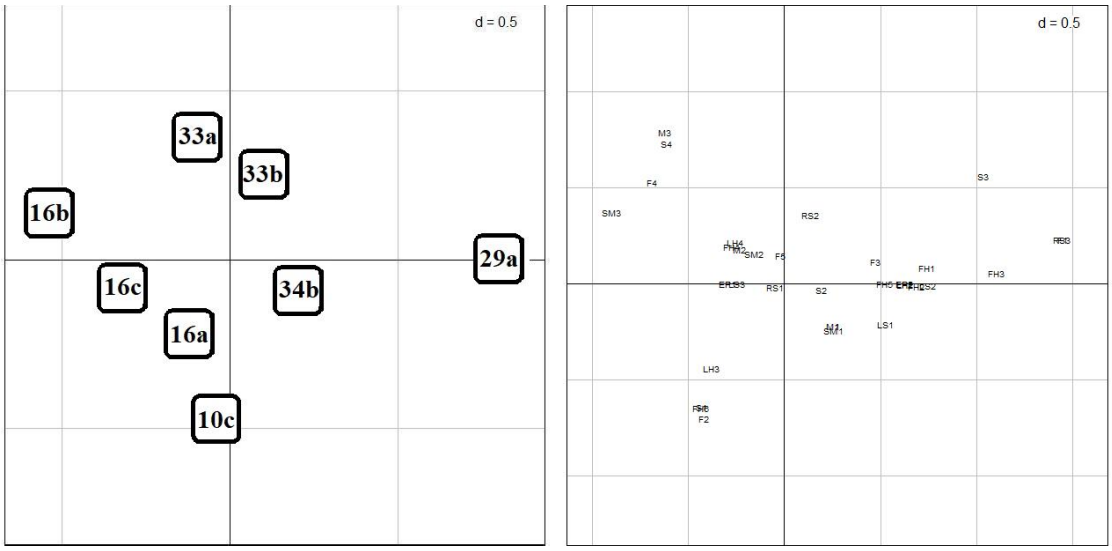


Рисунок 5. Функциональный анализ станций 2009 г. Таманского залива

Основной разброс данных на ординации был отмечен по оси 1. Ординация станций по этой оси определялась типом питания (FH – Feeding Habit). Две модальности имели наибольший вес: в левой части графика FH6 (соскабливающие, такие как *Bittium reticulatum* на станциях 10 и 16) и в центральной части FH4 (фильтраторы, такие как двустворчатые

моллюски на станциях 33 и 34). Ординация по второй оси была в основном за счёт размеров (S2-размер от 1 до 3 см. Такие размеры встречались на всех станциях, однако на 16, 29 и 34 они преобладали).

	RS1	RS2	
Тип питания	0,**231**	0,091	тип питания
Образ жизни	0,186	0,064	образ жизни
Положение в пространстве	0,184	-	положение в пространстве
Продолжительность жизни	0,182	-	продолжительность жизни
Размеры	0,152	**0,163**	размеры
Плодовитость	0,127	0,111	плодовитость
Подвижность	0,068	0,056	подвижность
Стратегия размножения	0,06	0,005	стратегия размножения
Половая зрелость	0,054	0,041	половая зрелость
Общая инерция	59.39%	25.37%	

Корреляционный анализ данных по функциональной структуре с абиотическими факторами показал сильную корреляционную зависимость положения станций по первой оси от массы корней зостеры (R=0.846), что не было показано при таксономическом анализе. Это может быть связано с тем, что при достаточном развитии вида-эдификатора, ассоциированные виды, характеризующиеся вышеуказанными признаками (фильтраторы, соскабливающие) обитают в более благоприятных условиях, чем на станциях с менее развитой зостерой.

Заключение

Наше исследование показало, что видовая и функциональная структура определялись разными факторами (видовая – гранулометрическим составом грунта, а функциональная – количеством зостеры). Это указывает на то, что в сообществе с эдификаторным видом, организующим вокруг себя среду обитания, существует ограниченное количество биологических ниш, где могут реализовывать свой потенциал разные виды.

Список литературы.

Ломакин, П. Д., Чепыженко, А. И., & Чепыженко, А. А. (2012). Динамика вод и взвешенного вещества в районе о. Тузла (Керченский пролив) при устойчивых меридиональных ветрах. Геология и полезные ископаемые мирового океана, (2), 72-83.

Butman C. A. 1987. Larval settlement of soft-sediment invertebrates: the spatial scales of pattern explained by active habitat selection and the emerging role of hydrodynamical processes // Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 25. P.113–65.

Thrush S.F. 1999. Complex role of predators in structuring soft sediment macrobenthic communities: implications of changes in spatial scale for experimental studies // Aust. J. Ecol., 24. P.344–354.

Kokarev V.N., Vedenin A.A., Basin A.B., Azovsky A.I., Taxonomic and functional patterns of macrobenthic communities on a high-Arctic shelf: A case study from the Laptev Sea. Journal of Sea Research Volume 129, November 2017, Pages 61-69.

ФЛОРА МАКРОВОДОРОСЛЕЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Володина Александра Анатольевна
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва

Введение

Растительность Юго-Восточной части Балтийского моря претерпела существенные изменения с начала XX века. Помимо обеднения видового разнообразия макроводорослей с 71 вида (Lakowitz, 1907) до 25 в XXI веке, отмечаемых в польской части Гданьского залива, произошли структурные и качественные перестройки фитоценозов. Сообщества многолетних видов в Пуцком заливе и во многих других районах Балтики сменялись устойчивыми к загрязнению нитчатыми водорослями. Цель данного исследования выявить современный видовой состав макроводорослей. Известны многочисленные работы по польской акватории Гданьского залива и исследования по литовской акватории. В российских морских водах в Калининградской области до начала XXI века подробного изучения видового состава макрофитов не проводилось.

Данные и методы

Представлены результаты исследования флоры макроводорослей Юго-Восточной Балтики (ЮВБ) в целом и в российской части с 2008 по 2016 гг. (Володина, Герб, 2013; Ежова, Володина, 2012). Водолазные гидробиологические съемки производились методом трансект (разрезов). Участки твердых субстратов, подходящих для произрастания прикрепленных водорослей-макрофитов, расположены вдоль северного побережья Самбийского полуострова. Всего отобрано и обработано 292 количественные водолазные пробы и 160 проб с глубин 0–0.5 м. Латинские названия растений приведены согласно WoRMS.

Результаты и обсуждение

В современной флоре макроводорослей Юго-Восточной части Балтики с конца XXвека по настоящее время отмечали 47 видов макроводорослей, в частности, в литовских территориальных водах – 34 вида, в сопредельных польских водах Гданьского залива - 25.

С 2008 по 2019 гг. в российской ЮВБ обнаружено 25 видов макроводорослей: Rhodophyta – 9, Ochrophyta – 7, Chlorophyta – 9 (Табл. 1), что сопоставимо с числом видов в литовских и польских территориальных водах (Labanauscas, 1999; Kostkevičienė, Sinkevičienė, 2008; Macrofytobentoso *stebėsena*…, 2016; Osowieckietal, 2012; Kruk-Dowgiałło et al., 2009; Saniewski., 2013; Study of Conditions…, 2016; Brzeska-Roszczyk, Kruk-Dowgiałło, 2017).

Таблица 1. Сравнение видового состава макроводорослей в подрайонах Юго-Восточной части Балтийского моря

	Районы моря	Гданьский залив		Восточно-Готландский бассейн	
№	Виды макроводорослей	*	***	**	***
	Отдел Rhodophyta				
1	*Acrochaetum sp.*	+	-	-	-
2	*Aglaothamnionsp.*	+	-	-	-
3	*Bangia atropurpurea* (Mertens et Roth) C. Agardh	-	+	+	+

4	*Ceramium tenuicorne* (Kützing) Waern (*C. gobii* Waern, *C. strictum* Harvey,)	+	+	+	+
5	*C. diaphanum* (Lightf.) Roth	+	-	+	-
6	*C. virgatum* Roth.	+	-	+	+
7	*Chroodactylon ornatum*(C. Agardh) Basson	-	-	?	+
8	*Coccotylus truncatus* (Pallas) M.J. Wynne & J.N. Heine	+	-	+	+
9	*Furcellaria lumbricalis* (Turner) Lamouroux	+	-	+	+
10	*Gaillona rosea* (Roth) Athanasiadis (*Aglaothamnion roseum* (Roth) Maggs et L' Hardy-Halos)	-	-	?	+
11	*Hildenbrandia rubra* (Sommerfelt) Meneghini	+	+	+	+
12	*Harveyella mirabilis* (P.F. Reinsch) F. Schmitz & J. Reinke	-	-	?	-
13	*Polïdes rotundus* (Hudson) Grev.	-	-	?	-
14	*Polysiphonia elongata* (Hudson) Sprengel	+	-	-	-
15	*Polysiphonia fibrillosa* (Dillwyn) Sprengel	-	-	?	-
16	*P. fucoides* (Hudson) Greville	+	+	+	+
17	*Rhodochorton purpureum* (Lightf.) Rosenvinge	-	-	?	?
18	*Rhodomela confervoides* (Hudson) P.C. Silva	+	-	?	?
	Отдел Ochrophyta				
19	*Battersia arctica* (Harvey) Draisma	-	-	+	+
20	*Battersia plumigera* (Holmes ex Hauck) Draisma	-	-	+	-
21	*Chorda filum* (L.) Stackhouse	-	-	?	-
22	*Dictyosiphon foeniculaceus* (Hudson) Greville	-	-	?	?
23	*Desmarestia viridis* (O. F. Müller) J. V. Lamouroux	+	-	-	-
24	*Ectocarpus siliculosus* (Dillwyn) Lyngbye	+	+	+	+
25	*Elachista fucicola* (Velley) Areschoug	-	-	?	-
27	*Halosiphon tomentosus* (Lyngb.) Jaasund (*Chorda tomentosa* Lyngb.)	-	-	-	+
28	*Pylaiella littoralis* (L.) Kjellman	+	+	+	+
29	*Pseudolithoderma extensum* (P. L. Crouan & H. M. Cruoran) S. Lund	-	-	+	+
30	*Pseudolithoderma subextensum* (Waern) S. Lund	-	+	+	+
31	*Ralfsia verrucosa* (Aresch.) J. Agardh.	-	-	?	-
32	*Sphacelaria cirrhosa* (Roth) C. Agardh	+	-	-	+
	Отдел Chlorophyta				
33	*Chaetomorpha linum* (O. F. Müller) Kützing, 1849	+	-	-	-
34	*Cladophora glomerata* (L.) Kützing	+	+	+	+
35	*C. rupestris* (L.) Kützing	+	-	+	+
36	*C. sericea* (Hudson) Kützing	-	-	-	+
37	*Gayralia oxysperma* (Kutzing) K. Linnaeus Vinogradova ex Scagel et Linnaeus	-	+	-	-
38	*Rhizoclonium riparium* (Roth) Harvey	+	-	+	?
39	*Spongomorpha aeruginosa* (L.) Hoek.	-	-	+	-
40	*Ulothrix subflaccida* Wille	-	+	+	+
41	*Ulva clathrata* (Roth.) C. Agardh	+	+	?	-

42	*U. compressa* Linnaeus	+	-	-	-
43	*U. flexuosa* Wulfen	-	+	-	+
44	*U. intestinalis* Linnaeus	+	+	+	+
45	*Ulva cf. Lactuca* Linnaeus	+	-	-	-
46	*U. prolifera*O. F. Müller	+	+	+	+
47	*Urospora penicilliformis* (A.W. Roth) J.E. Areschoug	+	+	+	+
	Всего видов	25	15	22	24
	Всего видов	30		37	

Обозначения: ? статус не ясен (не известно распространение); + вид присутствует во флоре; - вид отсутствует во флоре. *Данные по польской акватории Гданьского залива приведены по (Osowiecki et al, 2012; Kruk-Dowgiałło et al. 2009; Saniewski,, 2013; Study of Conditions…, 2016; Brzeska-Roszczyk, Kruk-Dowgiałło, 2017); **Данные по литовской акватории Восточной части Готландского бассейна (Labanauscas, 2000; Kostkevičienė, Sinkevičienė, 2008; Bučas, 2009*;* Macrofytobentoso, 2016); *** РС ЮВБ, собственные данные 2008-2019 (Ежова, 2012; Володина, Герб, 2013).

В 2006-2007 гг. в российской части ЮВБ Н.А. Ковальчук отмечал 6 видов, которые в последующие годы не были найдены, возможно, вследствие редкости, небольших размеров и сезонности появления: *Syncoryne reinkei, Ulvella scutata, Scytosiphon lomentaria, Rhodomelacon fervoides, Rhodochorton purpureum, Dictyosiphon foeniculaceus*.

В верхней сублиторали в ЮВБ интенсивно развиваются представители родов Ulva, Cladophora, Urospora, что свидетельствует о достаточно высокой трофности прибрежных вод. Только в окрестностях мыса Таран развиты сообщества, где по количеству видов и по биомассе преобладают многолетние виды. Наибольшая встречаемость, максимальная плотность водорослей отмечена на глубинах от 1.0 до 9.0 м. Максимальная зарегистрированная глубина произрастания макроводорослей – 11 м.

В польской части Гданьского залива в 2008 г. отмечалось 12 видов макроводорослей (Kruk-Dowgiallo, 2009). В2012-2015гг. – 25 видов (Osowiecki et al, 2012; Study of Conditions, 2016). Согласно последним опубликованным данным в Пуцком заливе всего обнаружено 25 видов морских макроводорослей, из них 4 свойственны опресненным водоемам (харовые – 3, спирогировые – 1) (Brzeska-Roszczyk, Kruk-Dowgiałło, 2017). Редкими видами в польских морских водах считаются *D. foeniculaceus, C. virgatum, C. truncatus, H. rubra, R. confervoides, S. cirrosa, Delleseria sanguinea, Ahnfeltia plicata.* К списку охраняемых относятся *Ceramium diaphanum, C. tenuicorne, F. lumbricalis* (Sub-regional risk…, 2011).

В литовской части Юго-Восточной Балтики (В.-Готландский басссейн) к 1999 г. обнаружено 35 видов (Labanauskas, 1999). После исследований В. Лабанаускаса 1993-1998 гг. (*Labanauscas,* 1999) нет сведений о находках в литовских водах следующих видов: *R. confervoides, R. purpureum, H. mirabilis, G. rosea, C. filum, D. foeniculaceus, R. verrucosa, U. clathrata, E. fucicola, P. fibrillosa, P. rotundus, C. ornatum.* В предварительном конспекте макроводорослей Литвы эти виды отнесены к редким (Kostkevičienė, Sinkevičienė, 2008). Однако в Красную книгу Литвы они не внесены. В красную книгу Литвы занесены *Bangia atropurpurea* как вид, находящийся под угрозой исчезновения и *Fucus vesiculosus* с неопределенным статусом (Lietuvos…, 2007). В течение нескольких десятилетий не было ни одной регистрации произрастания фукуса в Литве, в Польше, равно как и в Калининградской области.

Заключение

Из 47 видов, которые потенциально могут произрастать в Юго-Восточной Балтике только 10 видов – широко распространенные. Редкими во всей ЮВБ можно считать следующие виды: *G. rosea, C. truncatus, C. ornatum, C. virgatum, P. fibrillosa, H. tomentosus, Pseudolithodermaspp., R. verrucosa. C. filum, S. cirrosa, G. oxysperma, U. clathrata.* Локальноредкими – *F. lumbricalis, B. atropurpurea, H. rubra, C. rupestris.* Неясен статус видов: *R. confervoides, R. purpureum, D. foeniculaceus, S. lomentaria, U. scutata, S. reinkei* и др.

Благодарности. Анализ и интерпретация многолетних данных выполнены по госзаданию ИО РАН №0149-2019-0013. Автор благодарит за поддержку Володину Е. И., Лукошевичюса В. К., дайверов Ливчикова В. П., Пичугина А., Федотова П.Е.

Список литературы

Володина А.А., Герб М.А. Макрофиты прибрежной зоны российского сектора юго-восточной части Балтийского моря (Калининградская область) // Известия КГТУ. Серия «Биологические и сельскохозяйственные науки» 2013, № 28. С. 129−135.

Ежова Е. Е., Володина А. А. Водоросли-макрофиты // Нефть и окружающая среда Калининградской области. - Калининград, Изд-во Терра Балтика. - 2012. Т. 2. С. 449–459.

Brzeska-Roszczyk P., Kruk-Dowgiałło L. Preliminary results of monitoring studies on macrophytes in the area of the brine discharge from the Creation of gas storage caverns (Puck Bay, Baltic) //Bulletin of the Maritime Institute in Gdansk. 2017, 32(1), P. 50–57.

Bučas M. Distribution patterns and ecological role of the red algae Furcellaria lumbricalis (Hudson) J. V. Lamourax off the exposed Baltic Sea coast of Lithuania. 2009. Doctoral Dissertation, Klaipėda, 124 P.

Kostkevičienė J., Sinkevičienė Z. A preliminary checklist of Lithuanian macroalgae // Botanica Lithuanica. 2008. V.14. I.1. P. 11–27.

Kruk-Dowgiałło L., Brzeska P., Błeńska M., Opioła R., Kuliński M., Osowiecki A., 2009. Does coast protection deteriorate bottom habitats? Case Study-under water breakwaters in Gdynia Orlowo// III Ogolnopolsi kongres Inzynierii Srodowiska. Part 3., 2009. P. 125-126.

Labanauscas V. Baltijos Jūros Lietuvos Priekrant'ns Šiaurinęs Dalies Macrodumblių Rūsių Ivairovę Paplitimas // Botanica Lithuanica. 1999. V. 4. P. 403–413.

Lakowitz K. Die Algenflora der Danziger Bucht. Danzig, 1907. – 141 P.

Lietuvos raudonoji knyga, RAŠOMAVIČIUS V., (red.). Kaunas, Lututė, 2007.

Makrofitobentoso stebėsena Kuršių Mariose ir Baltijos Juroje bei ekologines būklės pagal makrofitus įvertinimas. Ataskaita. Klaipėdos universiteto Juros Mokslu ir technologiju centras. Klaipėda, 2016. 26 p.

Osowiecki, A., ŁysiakPastuszak, E., Kruk-Dowgiałło, L., Błeńska, M., Brzeska, P., Kraśniewski, W., Lewandowski, L., Krzymiński, W. Development of tools for ecological quality assessment in the Polish marina areas according to rhe Water Framework Directive. Part IV – preliminary assessment. Oceanological and hydrobiological studies. Vol. 41. Issue 3. 2012. P. 1-10.

Saniewski, M., 2013. Macrophytobenthos as an indicator of the environmental status of the Baltic Sea. P. 83-101.

Sub-regional risk of spill of oil and hazardous substances in the Baltic Sea//Additional Study – Polish marine areas, 2011. Baltic Sea Region Programme 2007-2013. January, 2011 – 76 p.

Study of Conditions of Spatial Development of Polish Sea Areas. Gdynia, March 2016. – 345 P.

WoRMS (World Register of Marine Species). URL: [www. marinespecies.org]

РОЛЬ БЕНТОСНЫХ ХИЩНИКОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЭПИБИОЗА КРАСНОЙ ВОДОРОСЛИ PHYCODRYS RUBENS В ПРОЛИВЕ ВЕЛИКАЯ САЛМА (КАНДАЛАКШСКИЙ З-В, БЕЛОЕ МОРЕ)

Чава Александра Ивановна[1], Артемьева Анна Васильевна[2], Яковис Евгений Леонидович[2]

[1] *Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва*
[2] *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*

Введение

В формировании структуры сообществ живых организмов ключевую роль играют меж- и внутривидовые взаимодействия (Bertness, Callaway, 1994). Сообщества, ассоциированные с видами-эдификаторами, формируются под значительным влиянием положительных межвидовых отношений. Однако отрицательные взаимодействия, такие как конкуренция или хищничество, также вносят немалый вклад в облик подобных сообществ. Роль хищничества в сообществах с видами-эдификаторами в целом, и в эпибиозах морских водорослей в частности, изучена довольно слабо: большая часть работ выполнена в тропических и умеренных широтах, в то время как данные по арктическому региону практически отсутствуют (Lippert et al., 2001). Разные группы водорослей также исследованы неравномерно: имеющиеся данные по эпибиотическим сообществам относятся в основном к бурым и зеленым водорослым, в то время как не менее многочисленная и распространенная группа красных водорослей остаётся недоизученной (Seed, O'Connor, 1981; Olafsson, 2016).
Для экспериментального исследования влияния хищничества на эпибиоз красных водорослей мы выбрали сообщество прикрепленного макробентоса на красной пластинчатой водоросли *Phycodrys rubens,* которая обитает в верхней сублиторали и широко распространена по всей Арктике, в частности в Белом море. В роли одного из бентосных хищников здесь выступают креветки *Spironthocaris phippsii*, которые, согласно данным наших лабораторных экспериментов, могут питаться многими представителями сообщества обрастания *P. rubens*. Мы предположили, что наличие хищников вообще и *S. phippsii* в частности может значительно влиять на видовой состав и численность обрастателей *P. rubens*.

Методы

В 2014-2015 гг мы поставили двухмесячные эксперименты с огораживанием отдельных растений *P. rubens* от доступа подвижных организмов размером меньше 2-3 мм и исключением хищников или искусственным повышением численности *S. phippsii*. Мы работали в окрестностях ББС МГУ в двух точках: «К» под островом Каменуха N 66.33,028 E 33.9.295 и «В» под островом Великий N 66.33,276 E 33.6,470. За 1-2 дня до постановки эксперимента аквалангисты собирали в двух вышеупомянутых точках (К и В) отдельные кусты *P. rubens*, растущие на небольших камнях (диаметром <15 см), а также креветок *S. phippsii.* Для огораживания растений мы использовали пластиковые корзины. Внутри корзины по всему её объему мы растягивали сетку с диаметром ячеи 2 мм, через дно корзины была протянута пластиковая стяжка для закрепления камня с растением. Мы использовали три типа корзин: «закрытые» без хищников, «полуоткрытые», с крупными (примерно 7 × 7 см) отверстиями в сетке, и закрытые корзины «с хищниками».

Непосредственно перед установкой в каждую корзину помещали камень с растением *P. rubens*, затем в клетки «с хищниками» подсаживали креветок (по 3-4 экземпляра в корзину), после чего аквалангист опускал готовую группу корзин на дно. Постановка эксперимента проходила в конце июля, корзины находились под водой около двух месяцев. В конце сентября корзины поднимали на сушу, водоросли фиксировали и затем анализировали фауну обрастателей пластин, выросших в текущем году, которые на момент постановки экспериментов были ещё практически лишены эпибионтов (Chava и др., 2019) В 2014 году 21 корзина (7 закрытых, 7 полуоткрытых, 7 с хищниками) находилась в точке В, в 2015 году 26 корзин – в точках К и В, по 13 корзин на точку (5 закрытых, 4 полуоткрытых, 4 с хищниками). В качестве природного контроля мы использовали случайные кусты *P. rubens*, собранные в точках постановки корзин в дни снятия эксперимента.

Мы исследовали влияние дискретных факторов «тип воздействия» (значения: закрытая клетка, клетка с хищниками, полуоткрытая клетка, природный контроль) и «точка и год эксперимента» (значения: В 2014, В 2015 и К 2015), их взаимодействий, а также площади растения (ковариата) на суммарное проективное покрытие эпибионтов с помощью бета-регрессии (R 3.1.4, пакет betareg v 3.1-1; Zeileis и др., 2011). Попарные сравнения средних, вычисленных при среднем значении ковариаты мы проводили с помощью post hoc теста Тьюки (Tukey HSD test). Вероятность ошибки первого рода p=0,05.

Результаты

По результатам экспериментов взаимодействие факторов «тип воздействия» и «точка и год эксперимента» достоверно влияло на суммарные покрытия эпибионтов. Характер различий между клетками радикально отличался в 2014 и 2015 г.г. и при этом был схож в обеих точках материала в 2015. В 2014 году суммарные покрытия были достоверно (в среднем примерно в 2.5-3 раза, см. рис. 1 и 2) выше в закрытых клетках, нежели в клетках любого другого типа и природных контролях. В 2015 году в обеих точках покрытия были достоверно ниже в клетках с креветками, нежели во всех остальных типах клеток и природных контролях (приблизительно в 2-2.5 раза, см. рис. 1 и 2). При этом, суммарные покрытия в полуоткрытых клетках и природных контролях в точке В не отличались между двумя годами и этими двумя типами клеток.

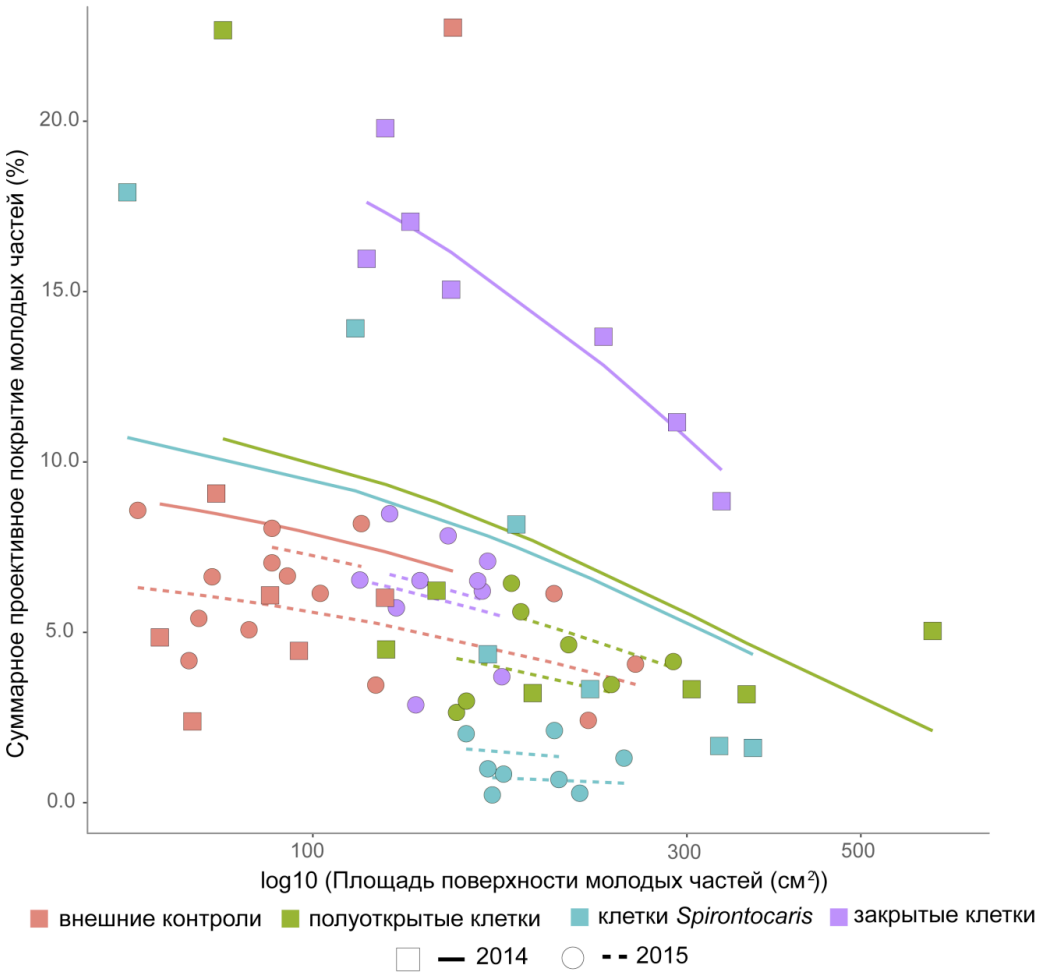


Рисунок 1. Суммарные проективные покрытия эпибионтов на молодой части *Phycodrys rubens* в зависимости от типа клетки в 2014 и 2015 г.г. Графики предсказанных значений построены в соответствии с бета-регрессией.

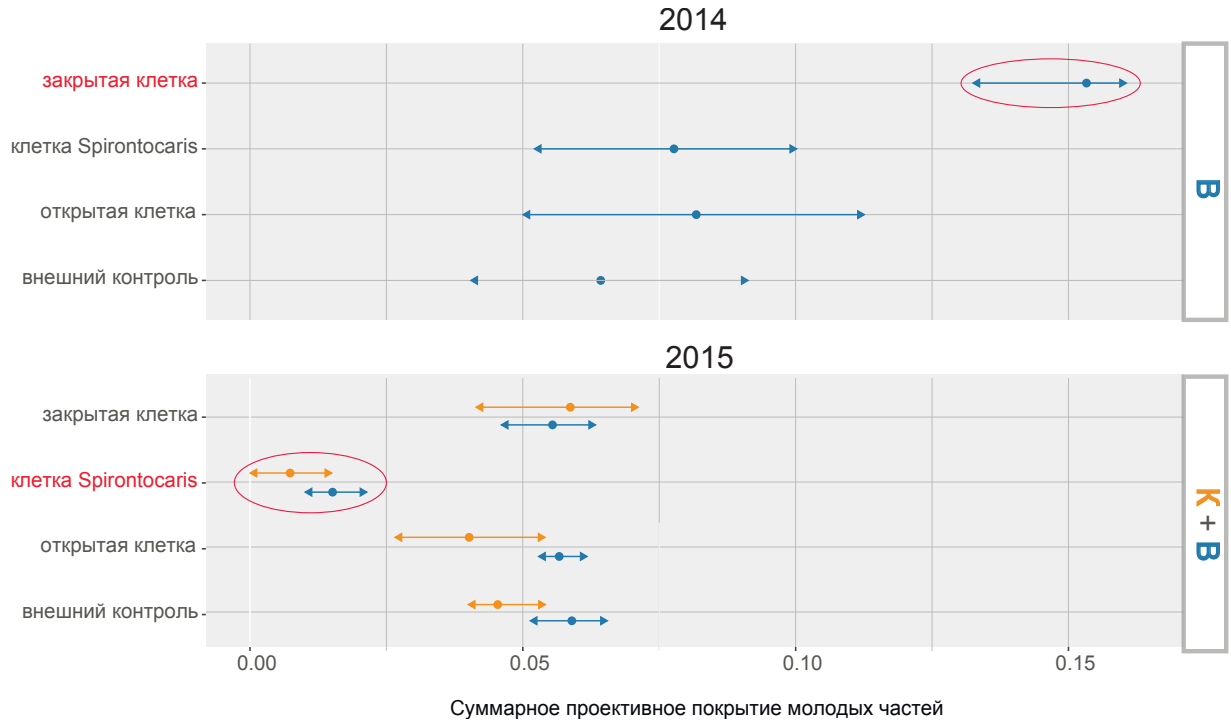


Рисунок 2. Средние значения и доверительные интервалы суммарных проективных

покрытий эпибионтов молодых частей *Phycodrys rubens* по типам клеток в экспериментах 2014 и 2015 года. Обведены достоверно отличающиеся группы значений по post hoc тестам (критерий Тьюки) для фактора «тип воздействия» по уровням фактора «точка и год эксперимента». Оранжевые линии – точка К. Синие линии – точка В.

Таким образом нам удалось зафиксировать, что в отсутствие хищников в 2014 году покрытия эпибионтов значительно увеличивались по сравнению с контрольными, а в 2015 оставались неизменными. В то же время, искусственное добавление одинакового количества *S. phippsii* в 2014 году приводило проективные покрытия эпибиоза к природным значениям, а в 2015 году – к значениям значительно ниже природных. При этом, плотность креветок в природе в 2014 году была в несколько раз выше, чем в 2015.

Заключение

Результаты 2014 года свидетельствуют о том, что в 2014 году влияние хищников, в том числе креветок S. *phippsii* играло важную роль в ограничении выживаемости эпибионтов молодых частей талломов *P. rubens*. В 2015 году мы наблюдали совершенно иной эффект: покрытия были достоверно ниже только в клетках с включением креветок, а во всех остальных (закрытых, полуоткрытых и контролях) не отличались. При этом в природе креветок было в 2,5 – 3 раза меньше, чем в 2014 году. Это говорит о том, что исключенный нами в закрытых клетках фактор хищничества не был сколько-нибудь заметной структурирующей силой в сообществе обрастания *P. rubens* в 2015 году. В то же время, на контрольных растениях из природы и в полузакрытых клетках суммарные проективные покрытия эпибионтов не отличались между годами. Ни в один из годов мы не обнаружили достоверных различий между контролями и полуоткрытыми клетками, что свидетельствует об отсутствии артефактов, связанных с процедурой огораживания. В разные годы, таким образом, одинаковые показатели обилия обрастателей бывают обусловлены совершенно разными процессами: сильным трофическим контролем в 2014 году, когда в природе хищников было сравнительно много, и соотношением пополнения и смертности от причин, не связанных с хищниками в 2015, когда хищников в природе было гораздо меньше.

Литература

1. Anderson M. J. Permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA) // Wiley StatsRef: Statistics Reference Online. – 2014. – С. 1-15.
2. Anderson M. J., Gorley R. N., Clarke K. R. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods // PRIMER-E, Plymouth, UK. – 2008.
3. Bertness M. D., Callaway R. Positive interactions in communities // Trends in Ecology & Evolution. – 1994. – Т. 9. – №. 5. – С. 191-193.
4. Chava A., Artemieva A., Yakovis E. Plant Part Age and Size Affect Sessile Macrobenthic Assemblages Associated with a Foliose Red Algae Phycodrys rubens in the White Sea // Diversity. – 2019. – Т. 11. – №. 5. – С. 80.
5. Lippert H. и др. Macrofauna associated with macroalgae in the Kongsfjord (Spitsbergen) // Polar Biology. – 2001. – Т. 24. – №. 7. – С. 512-522.
6. Olafsson E. Marine Macrophytes as Foundation Species. USA, Florida, Boca Raton: CRC Press. 2016. P. 43-65.
7. Seed R., O'Connor R. J. Community organization in marine algal epifaunas // Annual Review of Ecology and Systematics. – 1981. – Т. 12. – №. 1. – С. 49-74.

8. Zeileis A., Cribari-Neto F., Grün B. Beta Regression: Shaken, Stirred, Mixed, and Partitioned //The R User Conference, useR! 2011 August 16-18 2011 University of Warwick, Coventry, UK. – 2011. – С. 84.

О НАХОДКАХ ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ RANGIACUNEATA (BIVALVIA:MACTRIDAE) И LAONOMECF. CALIDA (POLYCHAETA: SABELLIDAE) В РОССИЙСКИХ ВОДАХ ВОСТОЧНОЙ И ЮЖНОЙ БАЛТИКИ

Лятун Марина Владимировна[1], Ежова Елена Евгеньевна[2], Орлова Марина Ивановна

[1]ФГБУН СпбНЦ РАН (С.-Петербург), [2]ФГБУН Институт океанологии им. П.П.Ширшова (Москва)

Введение

Вселение неаборигенных видов в Балтийское море и их дальнейшее распространение в бассейне приводит к значительным изменениям в составе и структуре биоценозов прибрежных морских экосистем и внутренних водоемов бассейна.

Полихета *Laonome calida* Capa, 2007, которая была описана из прибрежных вод и открытых вод субтропической и тропической Австралии, в европейских водах впервые была обнаружена в пресных и солоноватых каналах, реках и заливах Голландии, Северное море (Capa et al., 2014). В Балтике первая регистрация представителя сем. Sabellidae весьма сходного с *Laonome calida*, но описанного, однако, как *Laonome xeprovala* (Bick et al., 2018), относится к 2012 г., залив Пярну, Эстония. В российских водах Балтийского моря лаонома, идентифицированная как *L. calida* Capa, была впервые обнаружена в сборах 2013 г. в Калининградском судоходном канале (Вислинский залив) (Кочешкова, Ежова, 2018). Неаборигенную сабеллиду рода Laonome находили также в устье р. Эльбы, Кильском канале, у шведского побережья Балтийского моря, у юго-западного побережья Финляндии, в прибрежных водах Латвии (Bick et al., 2018) и даже в верховьях р. Одер (Pabis et al., 2017). Экспансия полихеты в Балтике продолжилась и в северном направлении: в 2018 лаонома была обнаружена в реках Лужской губы (Тамулёнис, 2020), в 2019 - в каналах ЛАЭС, впадающих в Копорскую губу Финского залива (собственные данные).

Исходный ареал обитания мактриды *Rangia cuneata* - Мексиканский залив (Carlton, 1992). В европейских водах, в Северном море, вид впервые обнаружен в 2005 г. в гавани Антверпена (Verween et al., 2006), спустя три года *R. cuneata* была обнаружена в сопредельных голландских водах, в каналах Амстердама (Moolenbeek, 2009), а уже через пять лет, в 2010 г., вид впервые зарегистрирован в Балтийском море (Ежова, 2012; Рудинская, Гусев, 2012). Первая интродукция в Балтике, вероятно, произошла с участием огромного количества пропагул - практически сразу была заселена вся акватория Вислинского залива, от солоноватоводной российской части до более опреснённой польской (Drgas, перс. сообщ.; Warzocha, Drgas, 2013). В 2013 г. вид был отмечен в литовской части Куршского залива (Möller et al., 2017), в 2015 г. - вблизи г. Любек, Германия (Wiese at al., 2016), в 2016 в Кильском канале (Solovjeva et al, 2019). В Рижском заливе живые особи Rangia cuneata отмечены у побережья Эстонии (Möller et al.,2017), единичные находки мертвых раковин сделаны у побережья Швеции (Ворошилова и др., 2018). в 2019 г. Рангия впервые была обнаружена в Финском заливе (Орлова, 2019).

Расселение двух интродуцентов в бассейне Балтийского и Северного морей показано на рис. 1.



Рисунок 1. Находки чужеродных видов *Laonome* cf. *calida* и *Rangia cuneata* в бассейне Северного и Балтийского морей

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили количественные пробы макрозообентоса. Вислинском заливе и нижнем течении р. Преголя пробы отбирали дночерпателем Ван-Вина 1/40 м^2) в 3 повторностях, промывали на сите с размером ячеи 0.4 мм и фиксировали 4 % формалином. В Копорской губе пробы макрозообентоса и обрастания собирали с использованием легководолазного метода и подводного фотодокументирования. Пробы обрабатывали стандартными методами, в лаборатории. Определяли видовой состав организмов в пробах, их численность и биомассу. Для *R. cuneata* определяли также размерный состав в выборке.

Результаты

Количественные показатели популяции *R. cuneata* в Вислинском заливе свидетельствуют о том, что моллюск успешно натурализовался в новом местообитании (Ежова, 2012, Рудинская, Гусев, 2012, Ежова, 2018). Биомасса моллюска варьировала здесь от 9.6 до 1700.0 г·м$^{-2}$ (Ежова, 2012), численность достигала 4040 экз.м$^{-2}$ (Рудинская, Гусев, 2012). Местные поселения моллюска считаются наиболее крупными в бассейнах Северного и Балтийского морей и, скорее всего, являются одним из основных источников для дальнейшего расселения вида в Балтике (Ежова, 2012).

В 2019 году особи *R. cuneata* были обильны в устьевом участке реки Преголи, впадающей в Вислинский залив, соленость в устьевом участке при нагонных ветрах колеблется от 0.5 до 6 PSU. На протяжении нижних 11-12 км реки регулярно в пробах отмечены свежие створки рангий размером 2,0 см, хотя живые особи обнаружены не были. Состояние створок и их регулярная встречаемость в пробах позволяют предположить, что планктонные личинки рангии заносятся из Вислинского залива во время нагонов соленой воды и способны обитать в нижнем течении реки, в том числе и в пресной её части.

Известна способность некоторых видов образовывать псевдопопуляции, лишенные способности к регулярному воспроизводству (Хлебович, 1985) в реках или связанных с ними пресных водоемах при заносе личинок из моря или эстуария вверх по течению. Организмы в таких популяциях не могут размножаться при отсутствии регулярного притока соленых вод, и поэтому достигают значительного возраста и размеров.

Laonome cf. *calida* в Вислинском заливе встречается в его северо-восточной части акватории. Средняя численность этих полихет здесь составляет 110.7 экз.м$^{-2}$ (Кочешкова, 2017). Соленость в местах находок полихет изменяется в пределах 1.5-5.9.

В августе 2020 крупные особи лаоном были обнаружены нами в составе бентоса, населяющего рукава реки Преголи (12 км от устья), где в весенне-летний период соленость

не превышает 0.25 промилле. Взрослые особи полихет достигали здесь размеров около 20-22 мм, хотя Вислинском заливе, в месте, где ранее была обнаружена основная размножающаяся популяция лаоном, максимальные размеры полихет не превышали 18 мм.

В Восточной части Финского залива (Копорская губа) *R. cuneata* была впервые обнаружена в 2019 году. Моллюски отмечены преимущественно в проточных каналах, в разнотипных донных биотопах. Численность рангий на исследованных участках варьировала от 637 до 9554 экз.м$^{-2}$, биомасса соответственно от 0,3 до 1784 гм$^{-2}$ (Орлова, 2019). Основу поселений составляли особи размером 2-4 мм, крупные особи (до 40 мм) встречались единично. Это позволяет предположить, что год обнаружения был вторым годом инвазии, когда особи-первопоселенцы достигли соответствующих размеров (макс 4 см для особей 1+), половой зрелости, размножились и дали первое (2-4 мм).

Заключение

Анализ данных по распространению чужеродных видов *R. cuneata* и *Laonome* cf. *calida* показывает их 1. сопряженное друг с другом распространение в бассейне Балтийского моря, 2. высокий инвазивный потенциал, 3. способность образовывать долгоживущие псевдопопуляции на опресняемых участках акваторий, что позволяет им видам быстро заселять не только прибрежную зону моря, но и эстуарии и нижнее течение рек.

В истории расселения рангии и лаономы обращает на себя внимание тот факт, что эти виды появились на исследованных акваториях внезапно и достаточно локально. При этом оба вида часто приурочены к техногенно-трансформированным и искусственным местообитаниям, в том числе – к каналам. Мы предполагаем, что вселению *Laonome* cf. *calida* способствовали дреджинговые работы по углублению судоходных каналов, часто производимые специализированными бельгийскими или голландскими судами в различных балтийских портах.

Основная локальная популяция лаоном в Вислинском заливе Балтийского моря обитает в Калининградском морском канале, в котором проводили дреджинговые работы иностранные суда. Этот вид полихет не имеет планктонной личинки и может попасть в новые местообитания только вместе с донными осадками. В настоящее время существует пока неразрешенный вопрос о принадлежности популяций из Вислинского залива, Кильского канала и Рижского залива к одному виду.

Вторичная дисперсия *R. cuneata* по Балтийскому морю происходила с балластными водами судов. Причем, самая крупная и устойчивая популяция вселенца (Вислинский залив), скорее всего, является донорской для соседних местообитаний в Литве, Эстонии и Финском заливе. В Финский залив моллюск предположительно попал с балластными водами парома, связывающего порты Балтийск в Вислинском заливе и Усть-Лугу в Лужской губе Финского залива. На очереди генетическое сравнение локальных популяций этих двух экзотических вселенцев из российских акваторий в Балтике, которое позволит ответить на вопрос, какие популяция были донорными для Финского залива, уточнить векторы инвазии и оценить перспективы дальнейшей экспансии изучаемых видов.

Финансирование. Анализ и интерпретация многолетних данных проведены в рамках госзадания ИО РАН №0149-2019-0008 и госзадания СпбНЦ РАН № 075-01336-20-02.

Список литературы

Bick A., Bastrop R., Kotta J., Meisner K., Meyer M., Syomin V. Description of a new species of Sabellidae (Polychaeta, Annelida) from fresh and brackish waters in Europe, with some remarks on the branchial crown of Laonome // Zootaxa. - 2018. - Vol. 4483, No. 2. - P. 349–364.

Capa M., van Moorsel G., Tempelman D. The Australian feather-duster worm Laonome calida Capa, 2007 (Annelida: Sabellidae) introduced into European inland waters? // BioInvasions Records. - 2014. - Vol. 3. - P. 1–11.

Carlton J.T. Introduced marine and estuarine mollusks of North America: an end-of-the-20th-century perspective // Journal of Shellfish Research. - 1992. - Vol. 11, No. 2. - P. 489–505.

Möller T., Kotta J. Rangia cuneata (G. B. Sowerby I, 1831) continues its invasion in the Baltic Sea: the first record in Pärnu Bay, Estonia // BioInvasions Records. - 2017. - Vol. 6. - Issue 2. - P. 167–172.

Moolenbeek R.G. Aanvullende vondsten van Rangia cuneata in het IJ (Noordzeekanaal) // De Kreukel. - 2009. - Vol. – 45, No. 1. - P. 6.

Pabis K., Krodkiewska M., Cebulska K. Alien freshwater polychaetes Hypania invalida (Grube 1860) and Laonome calida Capa 2007 in the Upper Odra River (Baltic Sea catchment area) // Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst. - 2017. - 418. – Vol. 46.

Solovjeva S., Samuilovene A., Srebaliene G., Olenin S. Limited success of the non-indigenous bivalve clam Rangia cuneata in the Lithuanian coastal waters of the Baltic Sea and the Curonian Lagoon // Oceanologia. - 2019. - Vol. 61. - Issue 3. - P. 341–349.

Verween A., Kerckhof F., Vincx M., Degraer S. First European record of the invasive brackish water clam Rangia cuneata (G.B. Sowerby I, 1831) (Mollusca: Bivalvia) // Aquatic Invasions. - 2006. - Vol. 1, No. 4. - P. 198–203.

Warzocha J., Drgas A. The alien gulf wedge clam (Rangia cuneata G. B. Sowerby I, 1831) (Mollusca: Bivalvia: Mactridae) in the Polish part of the Vistula Lagoon (SE. Baltic) // Folia Malacologica. - 2013. - Vol. 21. - P. 291–292.

Wiese L., Niehus O., Faass B. Ein weiteres Vorkommen von Rangia cuneata in Deutschland (Bivalvia: Mactridae) // Schriften zur Malakozoologie. - 2016. - Vol. 29. - P. 53–60.

Ворошилова И.С., Ежова Е.Е., Павлова В.В. Генетическое разнообразие первой Балтийской популяции Rangia cuneata (Bivalvia: Mactridae) // Российский журнал биологических инвазий - 2018. - № 1. - С. 26-32.

Ежова Е.Е. Новый вселенец в Балтийское море – моллюск Rangia cuneata (Bivalvia: Mactridae) // Морской экологический журнал. - 2012. - Т. XI, № 1.- С. 29-32.

Кочешкова О. В. Полихеты Вислинского залива (Балтийское море): формирование видового состава и адаптации видов к условиям эвтрофной солоноватой лагуны: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. - Мурманск, 2017. - 171 с.

Кочешкова О.В., Ежова Е.Е. О чужеродных видах полихет в российской части юго-восточной Балтики // Морской биологический журнал. - 2018. - Т. 3, № 2. - С. 53–63.

Орлова М. Первая находка и инвазионный статус Rangia cuneata (Sowerby, 1831) (Mactridae, Bivalvia) в восточной части Финского залива // Региональная экология. - 2019. - № 3 (57). - С. 69-79.

Рудинская Л.В., Гусев А.А. Вселение североамериканского двустворчатого моллюска Rangia cuneata (G.B. Sowerby I, 1831) (Bivalvia: Mactridae) в Вислинский залив Балтийского моря // Российский журнал биологических инвазий. - 2012. - №2. - С.115–127.

Тамулёнис А.Ю., Гагаев С.Ю., Стратаненко Е.А. Зуев Ю.А,. Потин В.В. Инвазия полихеты Laonome Xeprovala Bick & Bastrop, 2018 (Sabellidae, Polychaeta) в устья рек Луга и

Хаболовка (Лужская губа, Финский залив) // Российский журнал биологических инвазий - 2020. - № 1. - С. 52-60.

ЦВЕТЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В МЕЛКОВОДНОЙ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ЮЖНОЙ БАЛТИКИ

Мельник Анастасия Сергеевна[1,2], Ежова Елена Евгеньевна[1], Ланге Евгения Кирилловна[1]

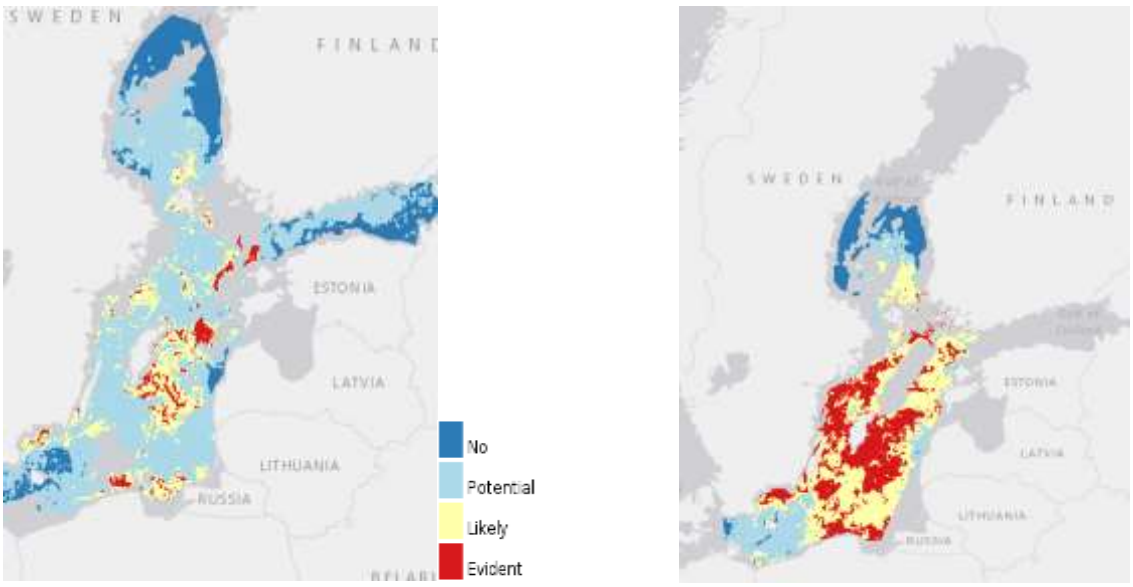
[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

[2] *Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград*

Введение

Балтийское море – крупнейший в мире солоноватоводный водоем, характеризуется частыми обширными по площади летними цветениями нитчатых цианобактерий (pp. Aphanizomenon, Nodularia, Dolichospermum). Цветение цианобактерий в открытой Балтике изучается в рамках международных мониторинговых программ и спутниковых исследованиях. При этом значительную часть года многие прибрежные районы моря, включая юго-восточную часть (Калининградская область), находятся в зоне повышенной облачности, поэтому спутниковые данные становятся неинформативными. Поскольку регулярного мониторинга цветения в прибрежных водах не проводится, существует определенный пробел в знании о развитии летнего цианобактериального цветения в прибрежном мелководье российской исключительной экономической зоны (ИЭЗ) в Юго-Восточной Балтики (ЮВБ).

В последней декаде июля 2018 г. наблюдалось масштабное цветение фитопланктона в Балтийском море, охватившее всю центральную и, частично, южную и западную части моря, что хорошо иллюстрируется данными спутников Аква-MODIS и Landsat 8-OLI (SYKE. Дата обращения 07.09.2020 г.) (Рис. 1 А, Б).



А Б

Рис. 1. Цианобактериальное цветение в Балтийском море, июль 2018 г. (А – 23.07. 2018 г.; Б – 26.07.2018 г. (SYKE. Дата обращения 07.09.2020 г.)

Спутниковые данные на рисунке 1 свидетельствуют о разных уровнях цветения лишь в наиболее мористой части ИЭЗ РФ, в то время как для большей части ее акватории данных нет. В этот период в сопредельной польской части Гданьского залива наблюдалось выраженное цианобактериальное цветение (*in situ* и по спутниковым данным) с

доминированием токсичных видов, что вызвало закрытие пляжей. Из-за повышенной облачности практически нет аналогичных сведений и для августа 2018 г. Исследование фитопланктона в мелководной прибрежной зоне Самбийского полуострова в августе 2018 г. позволяет ответить на вопрос о цветение цианобактерии в акватории ИЗВ РФ, несмотря на отсутствие спутниковых данных в позднелетний период 2018 г.

Материалы и методы

Материалом послужили пробы фитопланктона, собранные в прибрежной зоне западного и северного побережья Самбийского п-в (между портами Балтийск и Пионерский) на судне АОИО РАН «Норд-3» 22 августа 2018 г. Собраны поверхностные и интегральные пробы. Последние отбирались в трофогенном слое равному утроенной прозрачности по диску Секки (S) батометром Нискина с горизонтов: пов., 1S, 2S и 3S. После перемешивания в общей емкости пробы объемом 0,5 л фиксировались модифицированным раствором Люголя. Толщина трофогенного слоя варьировала от 4,5 до 16,5 м. Всего отобрано 16 проб на 9 станциях (глубина 9-32 м) (Рис. 2).

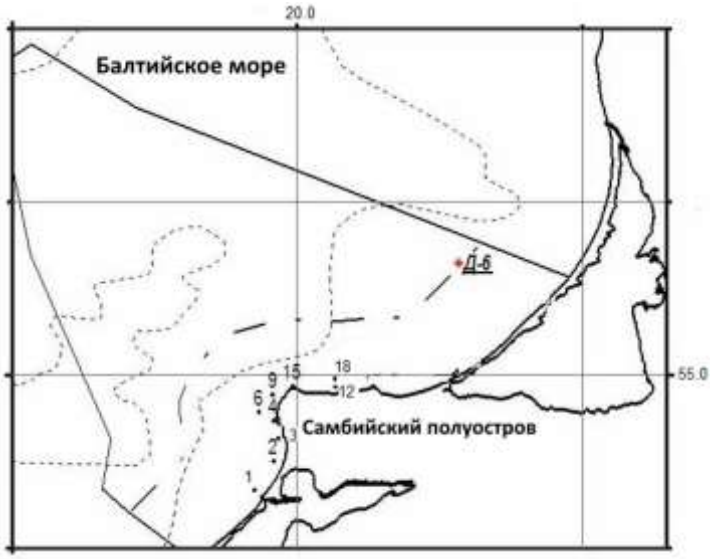


Рис. 2. Схема расположения станций отбора проб в Юго-Восточной Балтике, август 2018 г.

Пробы обрабатывали по общепринятым методикам (Радченко и др., 2010; HELCOM, 1988). Подсчет организмов вели в камере Нажотта объемом 0,05 мл под световым микроскопом «БиоЛАБ 6Т» при рабочем увеличении х400. В качестве счетной единицы принимали клетку. Расчет биомассы проводили методом геометрического подобия. К доминантным относили группы и виды, составившие более 10 % биомассы фитопланктона в пробе.

Результаты и обсуждение

В период исследования в августе 2018 г. гидрометеорологические условия характеризовались слабым ветровым волнением, местами до полного штиля. По данным визуальных наблюдений цветение фитопланктона на мелководных участках с глубиной до 17 м проявлялось в виде обширных пятен с явно различимыми конгломератами микроводорослей (Рис. 3).

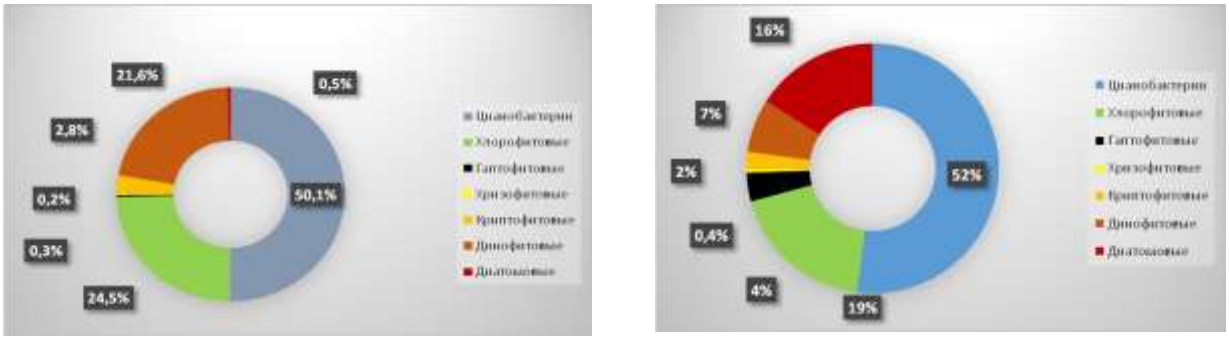
По предварительным данным фитопланктон исследованной акватории был представлен 52 таксонами из 8 систематических групп: цианобактерий (Cyanophyta) и зеленых (Chlorophyta) – по 14, динофитовых (Dinophyta) – 9, диатомовых (Diatomophyceae) – 8,

криптофитовые (Cryptophyta) – 4, гаптофитовых (Haptophyta), золотистых (Chrysophyta) и эвгленофитовых (Euglenophyta) – по 1 таксону.



Рис. 3. Пятна цианобактериального цветения в прибрежной зоне западного побережья Самбийского полуострова в ЮВБ. 22.08.2018 г.

В прибрежной зоне западного побережья Самбийского п-ва, где на большинстве станций визуально регистрировалось «цветение воды», количественные показатели фитопланктона в районе г. Балтийска в поверхностном (ПС) и трофогенном слое (ТС) имели сходную относительно высокую величину: численность – 27-35 млн. кл./л, биомасса – 418-474 мг/м^3 соответственно. Однако, при доминировании в обоих слоях цианобактерий (около 50 %, 210-247 мг/м^3) и зеленых (19-25 %, 89-103 мг/м^3), в ПС отмечено доминирование динофитовых (22 %, 91 мг/м^3 против 33 мг/м^3 в ТС), а в ТС – диатомовых (16 %, 76 мг/м^3 против 2 мг/м^3 в ПС) (Рис. 4).



А Б

Рис. 4. Относительная биомасса систематических групп фитопланктона западного побережье Самбийского п-ва (ст.1), 22.08.2018 г. (А – поверхностный горизонт; Б – трофогенный слой)

В обоих слоях среди цианобактерий по биомассе преобладали *Woronichinia compacta* и токсичная *Dolichospermum flosaquae* (Manual…, 2006) со сходным уровнем вегетации (46-70 мг/м^3, 11-16 %). Таким образом, цианобактерии, хотя и концентрировались в ПС и создавали пятна «цветения воды» вдоль западного побережье, часть цветообразующих колоний цианобактерий продолжала вегетировать в подповерхностных слоях в пределах ТС.

В числе доминатов из зеленых в обоих слоях отмечен *Mucidosphaerium pulchellum* (10-19 % общей биомассы, 47-78 мг/м^3). Только в ТС среди доминантов отмечена диатомея *Actinocyclus octonarius* (14 %, 67 мг/м^3). Сравниваемые ПС и ТС различались обилием гаптофитовой *Chrysochromulina spp.*, чья численность в ТС была в 14 раз выше: 272 и 19 тыс. кл./л соответственно.

В прибрежной зоне северного побережья Самбийского п-ва прозрачность воды была выше в 2,8 раза таковой в западной прибрежной зоне и составила 5,5 м. Визуальных признаков цветения цианобактерий на большинстве станций северной прибрежной зоны не обнаружено. Развитие фитопланктона характеризовалось в целом гораздо более низкими значениями количественных показателей. Так, суммарная численность и биомасса в ТС вблизи порта Пионерский (ст. 18, глубина 32 м) составили лишь 1,33 млн. кл./л и 36 мг/м^3 соответственно. Таким образом, биомасса микроводорослей была в 13 раз меньше таковой в западной прибрежной зоне. Доминировали диатомовые (49 %), динофитовые (22 %) и цианобактерии (18 %).

Заключение

В прибрежной мелководной зоне Самбийского полуострова наблюдалось явление цианобактериального поверхностного цветения, наиболее выраженного вдоль западного побережья, где цианобактерии формировали до 52 % биомассы фитопланктона. Часть цветообразующих колоний цианобактерий продолжала вегетировать в подповерхностных слоях в пределах трофогенного слоя. В пятнах цветения цианобактерий доминировала токсичная водоросль *Dolichospermum flosaquae* с максимумом биомассы 68 мг/м^3. В прибрежной зоне северного побережья данный вид практически не развивался, в ТС его биомасса составила около 1 мг/м^3 против 66 мг/м^3 в прибрежной зоне западного побережья полуострова.

В прибрежной зоне западного побережья в фитопланктоне поверхностного и трофогенного слоя наряду с цианобактериями доминировали зеленые, и только в ПС – динофитовые, в ТС – диатомовые водоросли. В прибрежной зоне северного побережья в ТС доминировали как цианобактерии и диатомовые, так и динофитовые, но из доминантов выпадали зеленые, что отличало данный фитопланктоценоз от такого в прибрежной зоне западного побережья. Кроме структурных отличий, прибрежная зона западного и северного побережья полуострова в значительной степени различались уровнем вегетации фитопланктона в ТС: численность – 35 и 1,3 млн. кл./л, биомасса – 474 и 36 мг/м^3 соответственно.

Список литературы

HELCOM, Baltic Marine Environmental Protection Commission - Helsinki Commission. Guidelines for the Baltic Monitoring Programme for the third stage; Part D. Biological Determinands, 27 D. – 1988. – 161 p.

Радченко И.Г., Капков В.И., Федоров В.Д. Практическое руководство по сбору и анализу проб морского фитопланктона: Учебно-методическое пособие для студентов биологических специальностей университетов. – М.: Мордвинцев. – 2010. – 60 с.

SYKE. Surface algal blooms in the Baltic Sea [Электронный ресурс]: URL:https://wwwi4.ymparisto.fi/i4/eng/tarkka. Дата обращения: 07.09.2020 г.

Manual on Aquatic Cyanobacteria. A Photo Guide and a Synopsis of their Toxicology. Gertrud Cronberg and Helene Annadotter Paris, France: Intergovernmental Oceanographic Commission, Unesco; Copenhagen: International Society for the Study of Harmful Algae. – 2006. – 106 p.

РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПИТАНИИ РЫБ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Зеленская Анастасия Евгеньевна, Иванова Татьяна Сослановна, Иванов Михаил Валерьевич, Демчук Анна Сергеевна, Лайус Дмитрий Людвигович
Кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Введение

Питание определяет ключевые физиологические процессы рыб (рост, созревание, размножение) и формирование численности поколений в популяциях, поэтому изучение изменений в характере питания разных видов рыб очень важно при анализе динамики численности и межвидовых трофических отношений. Изучение питания рыб разных размерно-возрастных групп способствует пониманию роли вида в экосистеме. Размер тела рыбы является одним из основных факторов, определяющих характер их питания и межвидовых взаимодействий. При этом одновременный анализ питания разных видов рыб (и разных возрастов) позволяет оценить сходства и различия пищевых спектров и механизмы трофических взаимодействий в сообществах (Павловский, 1961). Цель работы состояла в изучении зависимости характеристик питания массовых видов рыб прибрежья Кандалакшского залива Белого моря от их размера и возраста.

Материалы и методы

Материал для исследования был собран в районе Учебно-научной базы СПБГУ «Беломорская» (Кандалакшский залив, Белое море) в период с июня по сентябрь в 2015 году. Для исследования были выбраны 4 прибрежные акватории разного типа: губы Сельдяная (66°20'14.5"N 33°37'27.8"E), Яковлева (66°18'57.1"N 33°50'12.3"E), Лебяжья (66°17'41.5"N 33°36'47.1"E) и лагуна в проливе Сухая Салма (лагуна Колюшковая) (66°31’40.0’’N 33°64’24.7’’E). Губа Лебяжья – относительно изолированный опресненный участок губы Чупа, характеризующийся обилием фукусовых водорослей и высоким разнообразием рыб. Губы Сельдяная и Яковлева в большей степени связаны с открытыми частями Кандалакшского залива; здесь наблюдаются массовые заросли взморника *Zostera marina*, а также высокие показатели обилия трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus*. Лагуна Колюшковая – закрытая илистая мелководная (до 6 м) лагуна с плотными зарослями нитчатки и пятном из зарослей зостеры, и с точки зрения отсутствия хищников достаточно благоприятная для обитания и нереста трехиглой колюшки (Ivanova et al., 2016, Ivanova et al., 2019).

Рыб отлавливали с помощью жаберных сетей с диаметром ячеи 16, 20, 30 и 40 мм. Сети устанавливали на 9-12 часов в ночное время. У пойманных рыб измеряли длину, массу тела и фиксировали желудки 4% раствором формальдегида, отбирали отолиты (саггиты) для определения возраста. Для исследования питания зафиксированные желудки (896 экз.) вскрывали, извлекали и взвешивали пищевой комок, который затем просматривали под бинокуляром. Кормовые объекты определяли до низшего возможного таксона, измеряли численность и массу представителей отдельных таксонов. Для всех кормовых объектов были определены доли массы в пищевом комке.

Результаты

Из 13 пойманных видов рыб питание изучали у трески *Gadus morhua,* наваги *Eleginus nawaga,* керчака *Myoxocephalus scorpius,* сельди *Clupea* sp.*,* рогатки *Myoxocephalus quadricornis,* корюшки *Osmerus dentex.*

Возрастные группы полностью соответствовали возрастам рыб, определенным с точностью 1 год. Размерные классы были сформированы путем деления разницы между минимальной и максимальной стандартной длиной рыбы так, чтобы получились классы диапазоном не менее 5 см (Павловский, 1961), и таким образом, чтобы число классов варьировало в диапазоне от 2 до 4 (табл. 1).

Табл. 1. Границы размерных классов изученных видов рыб.

Вид рыбы	Размерный класс	Стандартная длина, см		Возраст, годы	N
		мин.	макс.		
Треска *Gadus morhua*	1	9,6	20,0	0+ - 2+	68
	2	20,1	30,0	1+ - 3+	154
	3	30,1	39,6	2+ - 5+	17
Навага *Eleginus nawaga*	1	6,0	11,2	0+	26
	2	11,3	16,5	1+ - 2+	116
	3	16,6	21,7	2+ - 3+	152
	4	21,8	26,9	3+ - 4+	20
Корюшка *Osmerus dentex*	1	10,0	15,0	1+ – 6+ (Кирпичников, 1935)	8
	2	15,1	20,0		19
	3	20,1	27,0		5
Сельдь *Clupea pallasii*	1	11,0	16,0	2+ – 7+ (Вильсон, 1957)	143
	2	16,1	21,0		36
	3	21,0	26,9		5
Керчак *Myoxocephalus scorpius*	1	10,4	18,0	1+ - 4+	36
	2	18,1	25,5	2+ - 7+	50
Рогатка *Myoxocephalus quadricornis*	1	9,5	14,0	1+ - 2+	17
	2	14,1	23,9	2+ - 8+	7

Треска размером 9,6-20 см (0-2 года) в июне поедают достоверно меньше икры колюшки и полихет, и достоверно больше взрослых особей колюшки *G. aculeatus*, чем рыбы размером 20,1-30 см (1-3 года). В августе доля взрослых колюшек и полихет (в основном, *Alitta virens*) в пищевых комках трески из разных размерных групп достоверно различаются (one-way ANOVA p=0,000001 и p=0,006, соответственно).

Показано, что сеголетки наваги (6-11,2 см) поедают достоверно больше мальков колюшки и гаммарид, нежели более крупные рыбы (one-way ANOSIM: R = 0,31, P = 0,002). Однолетняя навага (11,3-16,5 см) начинает активно питаться полихетами, и доля гаммарид в спектре ее питания меньше. Рыбы в возрасте 2-3 года с длиной тела 16,6-21,7 см поедают больше всего полихет и меньше всего мальков колюшки по сравнению с более мелкой навагой. По мере роста доля рыб в спектре питания наваги увеличивается, а доля беспозвоночных, наоборот, – снижается.

Показана достоверная зависимость спектра питания керчака от длины тела. Керчак длиной 10,4-18 см (1-4 года) поедает достоверно меньше полихет, чем керчак 18,1-25,5 см (2- 9 лет) (рис. 25). При этом мальков колюшки и гаммарид поедают только более мелкие

керчаки. Более крупные керчаки (18,1-25,5 см, 1-4 года), в отличие от мелких, поедают рыб (в большей степени песчанку *Ammodytes marinus*) и креветок (*Pandalus* sp., *Crangon crangon*). Различий в питании рогатки, корюшки и сельди, ассоциированных с длиной тела рыб, не было показано. Взрослая трехиглая колюшка наряду с Euphasiidae и Gammaridae составляет бóльшую часть спектра питания рогатки. Во второй половине лета хищник питается мальками колюшки, Polychaeta (*Pectinaria hyperborea*) и Gastropoda (*Hydrobia ulvae*). Мальки колюшки составляют основу питания сельди и корюшки в середине лета (июль-август).

Также в питании корюшки важна песчанка *A. marinus* и Euphasiidae, а сельди – копеподы и другие зоопланктонные организмы.

Заключение

Различия в питании разноразмерных особей одного вида показаны для трески, наваги и керчака. Они, главным образом, связаны с разной долей трехиглой колюшки *G. aculeatus* (икры, взрослый особей и молоди), других видов рыб (в основном песчанки *A. marinus*), Polychaeta (в основном, *A. virens*), и донных ракообразных (Euphasiidae, Gammaridae) в спектре питания.

По мере роста в питании изученных хищников наблюдается переход от мелких беспозвоночных и молоди трехиглой колюшки к более крупным беспозвоночным (многощетинковым червям, ракообразным), и затем к взрослой трехиглой колюшке и песчанке. У трески наблюдаются предпочтение крупными особями икры трехиглой колюшки.

Проект выполняется при поддержке гранта РНФ №19-14-00092 «Осиная талия» экосистем северных морей: долговременная динамика, популяционная структура и трофические связи массовых пелагических рыб Белого и Балтийского морей».

Благодарности

Авторы выражают благодарность УНБ «Беломорская» СПбГУ за возможность сбора и обработки материала на Белом море.

Список литературы

Вильсон, А. Н. 1957. Биология и промысел сельди Кандалакшского залива. Материалы по комплексному изучению Белого моря. М.; Л. Изд-во АН СССР.1. 90 с.

Кирпичников, В. С. 1935. Биолого-систематический очерк корюшки Белого моря, Чешской губы и р. Печоры. Труды Ин-та рыбн. хоз-ва и океаногр. 2:101-191.

Руководство по изучению питания рыб в естественных условиях. 1961. М.: АН СССР. 261 с.

Ivanova, T. S., Ivanov, M. V., Golovin, P. V., Polyakova, N. V., and Lajus, D. L. 2016. The White Sea threespine stickleback population: spawning habitats, mortality and abundance. Evol. Ecol. Res. 17: 301-315.

Ivanova, T. S., Ivanov, M. V., Bakhvalova, A. E., Polyakova, N. V., Golovin, P. V., Kucheryavyy, A. V., A.O. Yurtseva, K.A. Smirnova, Lajus, D. L. 2019. Homing ability and site fidelity of marine threespine stickleback on spawning grounds. Evol. Ecol. Res. 20(3): 297-315.

СРАВНЕНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗРАСТА И РОСТА КЛЮВОРЫЛОЙ АНТИМОРЫ ANTIMORA ROSTRATA (MORIDAE, GADIFORMES) В ВОДАХ ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ

Н.Б. Коростелев[1], А.М. Орлов[1,2,3,4,5]

[1] *Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва*

[2] *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва, 107140*

[3] *Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, 367000*

[4] *Томский государственный университет, г. Томск, 634050*

[5] *Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН, г. Махачкала, 367023*

Клюворылая антимора *Antimora rostrata* - один из двух представителей рода, встречается практически во всех районах Мирового океана, за исключением Северной Пацифики. В разных частях ареала клюворылая антимора характеризуется различными темпами роста. В данной работе представлены новые данные о возрасте и росте рассматриваемого вида из вод острова Маккуори (юго-западная часть Тихого океана) и проведен сравнительный анализ полученных результатов с опубликованными ранее данными из вод морей Лазарева, Уэдделла, Росса Южный океан (Horn, Sutton, 2015; Vedishcheva et al., 2019), вод островов Кергелен и Крозе, южная часть Индийского океана, исключительная экономическая зона Франции (Korostelev et al., 2020) и вод Новой Зеландии, юго-западная часть Тихого океана (Horn, Sutton, 2015)..

Материал собран во время ярусного промысла антарктического *Dissostichus mawsoni* и патагонского *D. eleginoides* клыкачей в конвенционном районе АНТКОМ (Комиссия по сохранению морских живых ресурсов Антарктики) на промысловых судах наблюдателями Австралии. Всего было проанализировано 110 пар отолитов - из вод островова Маккуори Возраст определяли путем подсчета колец на обожженных сломах отолитов. Для описания возраста и роста клюворылой антиморы были построены уравнения роста Берталанфи с использованием компьютерной программы PAST v. 3.14 (Hammer et al., 2001).

Клюворылая антимора в выборке из вод острова Маккуори имела общую длину тела (TL) от 37.6 до 71.1 см, средняя длина составила 57,6 см. Масса тела антимор была от 350 до 3600 г при среднем значении 524.5 г.

Результаты определения возраста показали, что минимальный возраст самцов 16, максимальный - 44, средний 30,5 лет, у самок минимальный возраст 20, максимальный - 47, средний 31.6 лет. В уловах преобладали рыбы в возрасте 32 лет, самцы этой группы составляли 10.9%, самки - 16.7 % всего улова.

На основании определений возраста были построены уравнения роста Берталанфи (Рисунок). Его параметры уравнения оказались сходны для самцов и самок (Таблица).

Параметры уравнения Берталанфи, полученые для выборки из вод острова Маккуори оказались близки к таковым из моря Росса, вод островов Кергелен и Крозе, морей Лазарева и Уэддела, но отличны от аналогичных из вод Новой Зеландии.

Таблица. Параметры уравнения роста Берталанфи клюворылой антиморы *Antimora*

rostrata из разных частей Южного полушария (в скобках указан размер выборки, F – самки, M – самцы, J – ювенильные особи)

Parameters	Море Росса (Horn, Sutton, 2015)	Новая Зеландия (Horn, Sutton, 2015)	Моря Лазарева и Уэдделла (Vedishcheva et al., 2019)			Острова Кергелен и Крозе (Korostelev et al., 2020)	Остров Маккуори (наши данные)		
	M+F (192)	M+F+J (48)	M (38)	F (29)	M+F+J (110)	M+F+J (148)	M (55)	F (42)	M+F+J (103)
L_∞ (*TL*)	82.2	50.8	79.90	165.45	82.25	77.5	74.9	71.5	74.7
K	0.047	0.056	0.060	0.012	0.050	0.053	0.06	0.091	0.065
t_0	-0.6	-3.2	1.23	0.87	1.09	1.29	5.37	11.3	6.8

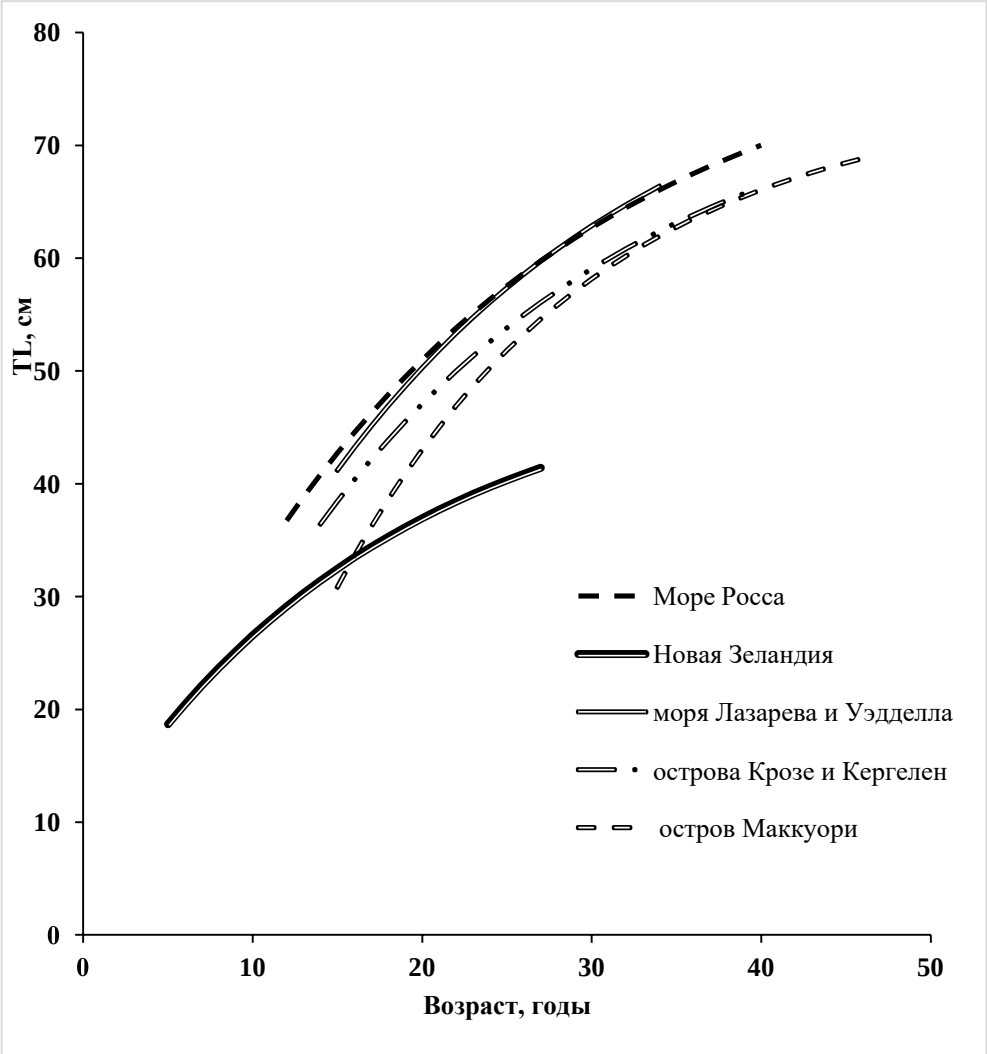


Рисунок. Кривые линейного роста *Antimora rostrata* в водах Южного полушария

Таким образом, сравнение полученных нами и опубликованных ранее данных по возрасту и росту клюворылой антиморы из морей Росса, Лазарева и Уэдделла, вод Новой Зеландии, островов Крозе и Кергелен и Маккуори показало, что клюворылая антимора в водах Антарктики и Субантарктики имеет сходные темпы роста, отличающиеся от таковых у особей из вод Новой Зеландии, возможно, это можно объяснить различными условиями

обитания.

Список литературы

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontol. Electron. V. 4. P. 9.

Horn P.L., Sutton C.P. 2015. An assessment of age and growth of violet cod (*Antimora rostrata*) in the Ross Sea, Antarctica // Polar Biol. V. 38. № 9. P. 1553−1558. doi: 10.1007/s00300-015-1702-3. *Korostelev N.B., Vedishcheva E.V., Orlov A.M.* 2020. Age and growth of *Antimora rostrata* (Moridae, Gadiformes, Teleostei) from the Kerguelen and Crozet Islands in the southern Indian Ocean // Polar Rec. V. 56. doi: 10.1017/S0032247420000157.

Vedishcheva E.V., Korostelev N.B., Gordeev I.I., Orlov A.M. 2019. A first attempt to evaluate the age and growth of blue hake *Antimora rostrata* (Moridae, Gadiformes, Teleostei) from the Lazarev and Weddell seas (Antarctic) // Polar Rec. V. 55. № 1. P. 25−31. doi: 10.1017/S0032247419000147.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОСОМНЫХ БАКТЕРИОХЛОРОФИЛЛОВ ЗЕЛЕНЫХ СЕРНЫХ БАКТЕРИЙ ПО СПЕКТРАМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ЭКСТРАКТОВ

Рымарь Валерия Всеволодовна[1], Жильцова Анна Александровна[1], Краснова Елена Дмитриевна[1], Воронов Дмитрий Анатольевич[1,2], Пацаева Светлана Викторовна[1]

[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова;*

[2]*Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича РАН.*

Введение

При изучении меромиктических водоемов (водоемов, в которых отсутствует перемешивание между слоями воды ввиду различий их плотности) часто возникает задача определения концентрации фототрофных микроорганизмов или их пигментов в разных слоях воды (Жильцова, 2018; Kharcheva, 2018). Для хлорофилл-содержащих микроорганизмов (водоросли, цианобактерии) разработан ряд спектральных методик определения хлорофилла или каротиноидов, однако концентрацию основных фотосинтетических пигментов бактерий – бактериохлорофиллов (Бхл) – определить труднее, так как спектральные свойства Бхл пока еще плохо изучены, и только разрабатываются количественные методы измерения Бхл по спектрам поглощения для смеси пигментов.

В природной воде озер, отделяющихся от моря в Беломорском регионе, на границе аэробной и бескислородной зон могут встречаться различные аноксигенные фототрофные бактерии, поэтому в экстрактах, приготовленных из природной воды, могут одновременно присутствовать несколько типов Бхл. В данной работе впервые предпринята попытка одновременного определения концентраций двух типов хлоросомных Бхл (Бхл *d* и Бхл *e*) в экстрактах пигментов по спектрам флуоресценции.

Объекты и методы исследования

Для разработки метода были приготовлены экстракты в органическом растворителе двух типов хлоросомных Бхл (Бхл *d* и Бхл *e*) из клеток двух форм зеленых серных бактерий (ЗСБ) – зеленоокрашенной и коричневоокрашенной. Экстракты приготовлены путем добавления 1 мл водной суспензии с клетками бактерий к 4 мл смешанного растворителя ацетон-этанол, взятого в пропорции 7:2. В клетках одной формы ЗСБ присутствует только Бхл *d*, а в другой присутствует только Бхл *e*, из-за чего клетки бактерий по-разному окрашены, а в спектрах поглощения экстрактов в органическом растворителе проявляются разные максимумы. Это позволяет предположить, что в спектрах возбуждения флуоресценции также будут наблюдаться разные максимумы для двух форм ЗСБ различной окраски.

Спектры испускания и возбуждения флуоресценции измерены с помощью флуориметра Solar CM2203 для экстрактов индивидуальных Бхл и их смеси с различным процентным содержанием двух типов фотосинтетических пигментов. Спектры поглощения зарегистрированы с помощью спектрофотометра Solar PB2201 в кюветах с длиной оптического пути 1 см, после чего была произведена коррекция для всех спектров флуоресценции на «эффект внутреннего фильтра». На основе спектров поглощения была вычислена абсолютная концентрация Бхл в экстрактах (Намсараев, 2009; Емельянцев, 2019).

Результаты

Для флуоресценции индивидуальных Бхл в экстракте при возбуждении длинами волн короче 620 нм наблюдаются перекрывающиеся полосы в спектрах испускания Бхл с максимумами при 664 нм (главный максимум) и 723 нм для Бхл *d* и 660 нм (главный максимум) и 715 нм для Бхл *e*; положение максимума в спектре испускания не зависит от длины волны возбуждения. Спектры испускания флуоресценции экстрактов бактериохлорофиллов характеризуются двумя пиками: коротковолновым главным пиком и невысоким длинноволновым (рис. 1).

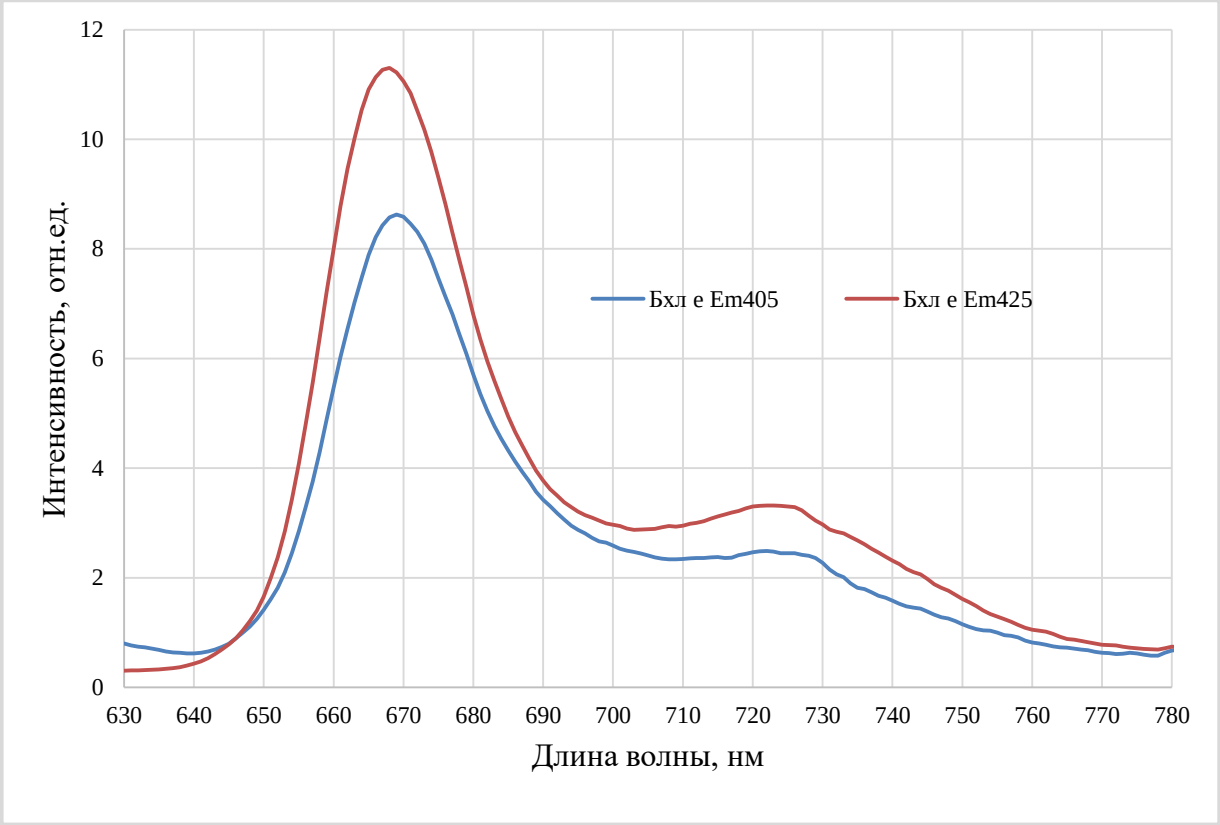


Рис 1. Спектры испускания флуоресценции Бхл *e* для различных длин волн возбуждения.

Близость максимумов испускания не позволяет разделить вклад в эти спектры Бхл *d* и Бхл *e* в случае их одновременного присутствия в экстракте. Однако спектры возбуждения флуоресценции Бхл *d* и Бхл *e* оказываются различными. То есть, используя две длины волны возбуждения (например, в максимуме спектра возбуждения Бхл *d* и в максимуме спектра возбуждения Бхл *e*) можно получить два спектра испускания флуоресценции, в одном из которых лучше будет проявляться флуоресценция Бхл *d*, а в другом – Бхл *e*. В качестве двух длин волн, близких к максимумам в спектрах возбуждения каждого из Бхл, были взяты 425 и 460 нм.

Для определения относительной концентрации Бхл *d* и Бхл *e* в их смеси по спектрам флуоресценции экстрактов были получены два уравнения, основанные на различии интенсивности в спектре флуоресценции Бхл *d* и Бхл *e* при возбуждении на длине волны 425 и 460 нм:

$$\begin{cases} I^{425}_{\text{смесь}} = I^{425}_{\text{Бхл } d}\, n_{d_{\text{отн}}} + I^{425}_{\text{Бхл } e}\, n_{e_{\text{отн}}} \\ I^{460}_{\text{смесь}} = I^{460}_{\text{Бхл } d}\, n_{d_{\text{отн}}} + I^{460}_{\text{Бхл } e}\, n_{e_{\text{отн}}} \end{cases},$$

где $I^{425}_{\text{Бхл}\,d}$ и $I^{460}_{\text{Бхл}\,d}$ – интенсивности флуоресценции Бхл d для длины волны возбуждения 425 нм или 460 нм; $I^{425}_{\text{Бхл}\,e}$ и $I^{460}_{\text{Бхл}\,e}$ – интенсивности флуоресценции Бхл e для длины волны возбуждения 425 нм или 460 нм; $I^{425}_{\text{смесь}}$ и $I^{460}_{\text{смесь}}$– интенсивности флуоресценции смеси Бхл для длины волны возбуждения 425 нм или 460 нм; $n_{d_{\text{отн}}}$– относительная концентрация Бхл d в смеси; $n_{e_{\text{отн}}}$– относительная концентрация Бхл e в смеси.

Значения интенсивности флуоресценции Бхл d или Бхл e при возбуждении светом с длиной волны 425 или 460 нм определяются по соответствующим спектрам испускания, измеренным для индивидуальных Бхл в экстракте. И тогда мы получаем систему из двух уравнений с двумя неизвестным – $n_{d_{\text{отн}}}$и $n_{e_{\text{отн}}}$– концентрацией Бхл d в смеси и концентрацией Бхл e в смеси. Решая систему уравнений, находим концентрации $n_{d_{\text{отн}}}$и $n_{e_{\text{отн}}}$.

Проверка данного метода одновременного определения концентрации двух Бхл проводилась для смесей экстрактов индивидуальных Бхл в известной пропорции. В качестве интенсивности флуоресценции брали усредненное значение интенсивности флуоресценции на длинах волн испускания 660-664 нм. Решение системы уравнений с использованием средней интенсивности флуоресценции на длинах волн испускания 660-664 нм при возбуждении поочередно двумя длинами волн возбуждения 425 и 460 нм позволяет определить концентрацию каждого пигмента в отдельности.

Заключение

Проверка метода для смеси пигментов в известном соотношении показала приемлемую точность (~20%) определения концентрации Бхл d и Бхл e при их одновременном присутствии в смеси. Точность может быть повышена при работе с разбавленными экстрактами, для которых суммарная оптическая плотность на дине волны возбуждения и длине волны испускания не превышает 0,1. Таким образом, данный метод применим для определения концентраций отдельных хлоросомных Бхл (Бхл d и Бхл e) в смеси пигментов в экстракте по спектрам флуоресценции Бхл, измеренным поочередно с использованием двух длин волн возбуждения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-00377), Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС» и с использованием финансовых средств Министерства науки и высшего образования РФ.

Список литературы

Жильцова А. А., Харчева А. В., Краснова Е. Д. и др. Спектральное исследование зеленых серных бактерий в стратифицированных водоемах Кандалакшского залива Белого моря // Оптика атмосферы и океана. — 2018. — Т. 31, № 3. — С. 233–239.

Намсараев З. Б. Использование коэффициентов поглощения для расчета концентрации хлорофиллов и бактериохлорофиллов // Микробиология. — 2009. — Том 78, №6. — С. 836-839.

Емельянцев П.С., Жильцова А.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Рымарь В.В., Пацаева С.В. Определение концентрации хлоросомных бактериохлорофиллов по спектрам поглощения клеток зеленых серных бактерий в пробах природной воды // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия. — 2020. — № 2. — С. 25–30.

Kharcheva Anastasia, Zhiltsova Anna, Emelyantsev Pavel et al. Spectrophotometric quantification of chlorosomal bacteriochlorophyll in intact cells of green sulphur bacteria: monocultures and natural water // EARSeL eProceedings. — 2018. — Vol. 17, no. 1. — P. 7–15.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ВОДЫ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ВОДОЕМОВ КАНДАЛАКШСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ

Жильцова Анна Александровна[1], Краснова Елена Дмитриевна[1], Воронов Дмитрий Анатольевич[1, 2], Емельянцев Павел Сергеевич[1], Пацаева Светлана Викторовна[1]

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

[2]*Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича РАН*

Введение

Растворенное органическое вещество (РОВ) присутствует во всех без исключения типах природной воды и, хотя обычно его концентрации невелики, оно составляет значительный резервуар органического углерода в мировом океане, превышающий запасы органического вещества всех вместе взятых водных организмов (Frimmel, 1998). РОВ природного происхождения – один из наиболее важных компонентов пресноводных и морских экосистем, играющий ключевую роль в кругообороте углерода и формировании климата на нашей планете.

Понятие растворенного органического вещества является операционным термином; граница между растворенным и взвешенным природным веществом является чисто условной. На практике обычно считают растворенным органическое вещество, прошедшее через фильтры с размерами пор 0,2 мкм. Только около 10% РОВ может быть отнесено к известным классам химических соединений, большую же часть составляют органические молекулы различного молекулярного веса и неклассифицируемого химического состава. Гуминовые вещества (ГВ), которые являются макромолекулами без периодической структуры, составляют до 50% РОВ природной воды (Орлов, 1996). По своей химической природе ГВ представляют собой высокомолекулярные ароматические оксикарбоновые кислоты. Присутствие в молекулах ГВ электронно-донорных и электронно-акцепторных функциональных групп обуславливает их способность участвовать в окислительно-восстановительных реакциях с различными соединениями. Они выполняют целый ряд важных биосферных функций, таких как структурирование почвы, накопление питательных элементов и микроэлементов в доступной для растений форме, регулирование геохимических потоков металлов в водных и почвенных экосистемах.

Гуминовые вещества поглощают свет в УФ и коротковолновой видимой области спектра, поэтому природная вода с большим содержанием гуминовых веществ – желтого или коричневого цвета. В последнее время широкое развитие при изучении происхождения и динамики РОВ получили оптические методы. Состав и соотношение компонентов РОВ могут существенно отличаться для различных акваторий, поэтому спектрально-оптические характеристики успешно используются для идентификации природных вод, а также для изучения процессов трансформации РОВ.

Особый интерес представляет изучение РОВ и гуминовых соединений в стратифицированных водоемах, в которых из-за отсутствия вертикального перемешивания слоев воды для воды на разной глубине наблюдаются различающиеся оптические свойства. Данная работа посвящена изучению спектров поглощения природной воды из водоемов, находящихся на разной стадии изоляции от Белого моря.

Объекты и методы исследования

Электронные спектры поглощения света в пробах воды измеряли с помощью спектрофотометра Solar PB2201 в диапазоне от 200 до 1000 нм или спектрофотометра Solar

PV1251 в диапазоне от 315 до 995 в кварцевых кюветах с длиной оптического хода 1 или 3 см.

Пробы воды отбирали с помощью погружного насоса с различной глубины в нескольких водоемах Кандалакшского побережья Белого моря: в оз. Кисло-Сладкое, Лагуны на Зеленом мысе, оз. Трехцветное и оз. Большие Хрусломены, а также из ручьев, поступающих в изучаемые водоемы и из моря. Пример ручья, который впадает в оз. Кисло-Сладкое, приведен на рис. 1.



Рис 1. Оз. Кисло-Сладкое и впадающий в него ручей. Сентябрь 2020 г.

Результаты

Оптическая плотность ГВ и РОВ природной воды монотонно убывает с увеличением длины волны поглощаемого света, и в диапазоне 260-270 нм иногда наблюдается небольшое «плечо» (Yakimenko, 2018). При отсутствии в воде микроорганизмов или природных пигментов, других пиков поглощения света органическими веществами в природной воде в спектральном диапазоне от 300 до 700 нм не наблюдается. На рис. 2 показаны спектры поглощения РОВ в воде из ручья, богатой гуминовыми веществами, впадающего в оз. Кисло-Сладкое, РОВ морской воды и поверхностной воды в изучаемых водоемах.

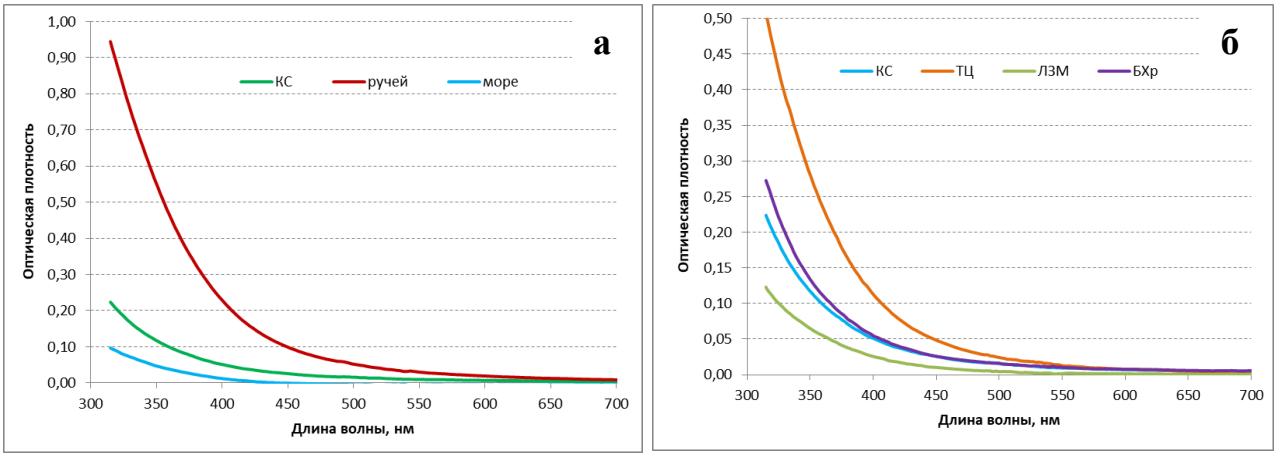


Рис 2. (а) спектры поглощения света поверхностной водой из оз. Кисло-Сладкое (КС), водой из ручья (ручей), втекающего в озеро, и морской водой с соседней акватории (море); (б) спектры поглощения света поверхностной воды из оз. Кисло-Сладкое (КС), оз. Трехцветное (ТЦ), Лагуны на Зеленом мысе (ЛЗМ) и оз. Большие Хрусломены (БХр). Измерения выполнены в сентябре 2020 г.

Морская вода характеризуется низкими значениями оптической плотности в УФ области. Для воды из ручья характерны высокие значения оптической плотности, а для воды Кисло-Сладкого озера и других отделяющихся водоемов – промежуточные значения между значениями оптической плотности морской воды Белого моря, которая периодически поступает в водоем, и пресной воды ручья болотного происхождения.

Оптическая плотность в коротковолновой видимой области спектра, которая отражает количество гуминовых веществ, хорошо согласуется со степенью изоляции водоема от моря (Краснова и др., 2016). Среди всех изученных водоемов наибольшие концентрации гуминовых веществ в поверхностной воде выявлены в меромиктическом оз. Трехцветном, утратившем связь с морем много столетий назад. Промежуточные значения зарегистрированы в водоемах на промежуточных стадиях изоляции, и наименьшие – в Лагуне на Зеленом мысе, в которую морская вода попадает при каждом приливе.

Наряду с абсолютными значениями оптической плотности, важной оптической характеристикой РОВ природной воды является форма спектральной кривой. Чаще всего спектральную кривую оптической плотности как функцию длины волны аппроксимируют экспонентой. Рис. 3 хорошо иллюстрирует такую аппроксимацию.

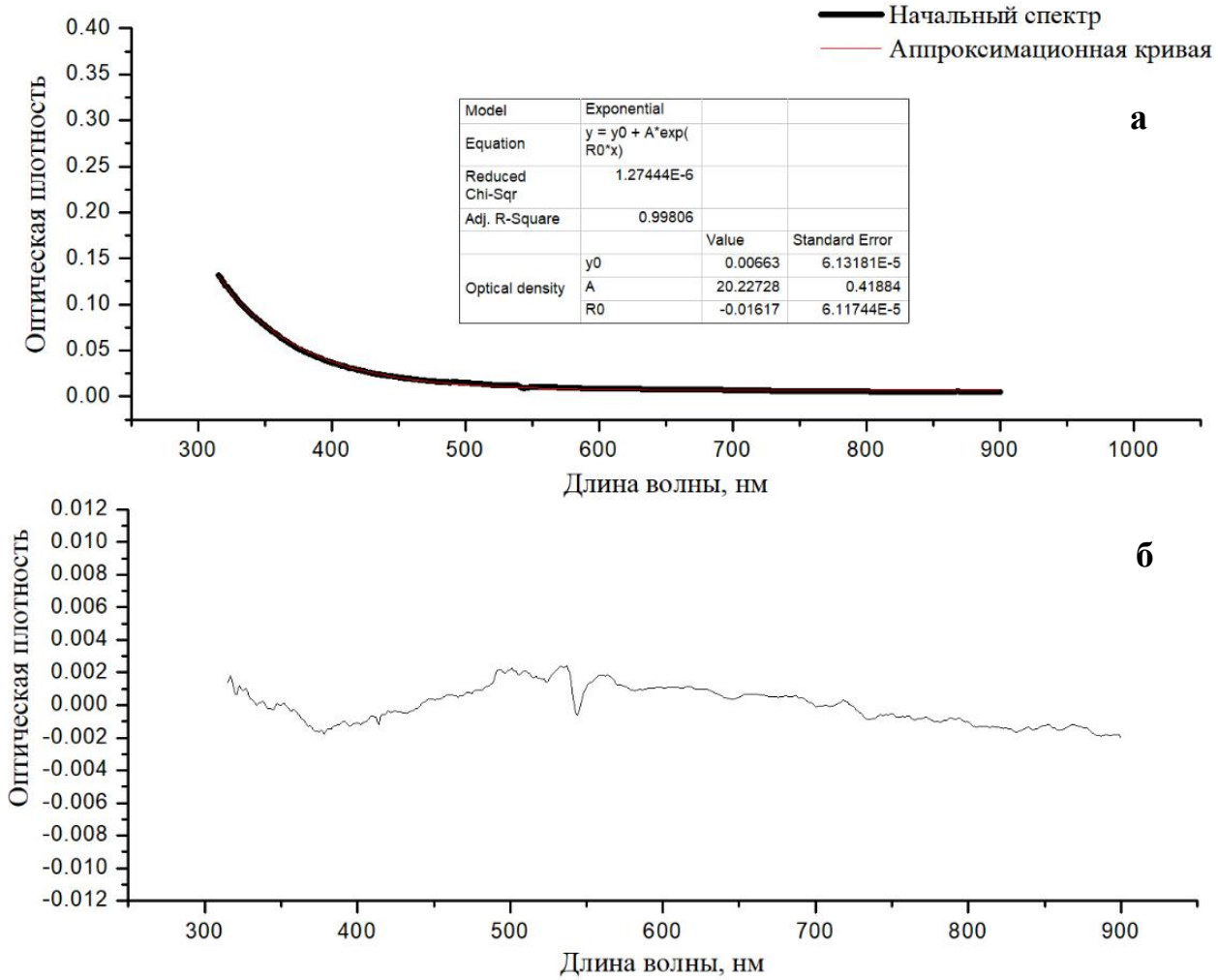


Рис 3. (а) спектр поглощения света в пробе поверхностной воды Лагуны на Зеленом мысе (сентябрь 2019 г.) и его аппроксимация экспонентой; (б) разница исходного спектра поглощения и его аппроксимации экспонентой.

Показатель экспоненты дает новую количественную характеристику спектров поглощения, которая зависит не от концентрации, а от соотношения высокомолекулярных и

низкомолекулярных фракций ГВ. Чем больше доля высокомолекулярных фракций в составе ГВ, тем медленнее спадает спектр поглощения в сторону больших длин волн, и меньше показатель экспоненты.

Заключение

Изучены спектрально-оптические свойства растворенного органического вещества (РОВ) в прибрежных меромиктических водоемоах Белого моря в экспедициях МГУ в 2019-2020 гг. Спектральные характеристики РОВ хорошо согласуются с гидрохимическими свойствами воды: в поверхностном опресненном слое из-за притока болотной воды содержится больше гуминовых веществ и, соответственно, выше значения оптической плотности РОВ в УФ области и коротковолновой части видимого диапазона. Оптическая плотность в коротковолновой видимой области спектра, которая отражает количество гуминовых веществ, хорошо согласуется со степенью изоляции водоема от моря: на начальной стадии изоляции концентрация РОВ в водоеме меньше, чем в давно отделившихся от моря водоемах. Наблюдается плавный монотонный спад в спектре поглощения с увеличением длины волны. Данная работа важна для понимания механизмов формирования оптических свойств природной воды с РОВ различного происхождения.

Работа поддержана грантами РФФИ №19-05-00377 и 19-05-00056, а также Фондом развития теоретической физики и математики «БАЗИС».

Список литературы

Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л. Исследования отделяющихся водоемов на побережье Белого моря. Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота — изменения на фоне трансгрессии берегов // Труды Беломорской биостанции МГУ. Т. 12. — М.: Т-во науч. изд. КМК, 2016. — С. 211–241.

Орлов Д.С. Химия и охрана почв // Соросовский образовательный журнал. — 1996. — №3. — С. 65-74.

Frimmel F. H. and Christman R. F.: Humic substances and their role in the environment. — Chichester, West Sussex: J. Wiley & Sons Ltd., 1988. — 271 p.

Yakimenko O., Khundzhua D., Izosimov A., Yuzhakov V., Patsaeva S. Source indicator of commercial humic products: UV-vis and fluorescence proxies // Journal of Soils and Sediments. — 2018. — Vol. 18, no. 4. — P. 1279–1291.

УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГРИБОВ И ГРИБОПОДОБНЫХ ОРГАНИЗМОВ В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ

Фадеев Александр Юрьевич[1], Георгиева Марина Леонидовна[1,2], Перебоев Дмитрий Дмитриевич[1], Бубнова Екатерина Николаевна[1]

[1]Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

[2]ФГБНУ "Научно-исследовательский институт по изысканию новых антибиотиков имени Г.Ф. Гаузе", г. Москва

Грибы и грибоподобные организмы повсеместно встречаются в различных экосистемах, в том числе и морских. Вместе они формируют микобиоту – один из важнейших компонентов системы мирового океана. Её представители могут быть сапротрофами, разлагающими органические остатки, паразитами на различных гидробионтах, мутуалистами, связанными с высшими растениями или водорослями. Морская микобиота – таксономически гетерогенная группа. Она состоит как из непосредственно грибов (клада Fungi), среди которых преобладают аскомицеты, и из грибоподобных организмов, в основном из клады Stramenopiles, где большинство составляют лабиринтуломицеты.

Загрязнение морских акваторий и литоральных зон нефтепродуктами – одна из наиболее насущных и распространенных проблем. Это вызвано множеством различных факторов, как природными (естественные утечки – сипы), так и антропогенными (потребление, транспортировка, аварии и так далее). Загрязнение вод оказывает сильное воздействие на различных гидробионтов – так, например, после аварийного разлива в Онежском заливе в 2003 году было отмечено изменение репродукции рыб, снижение численности белуг (Андрианов и др., 2016). В водных условиях механические способы уборки загрязнений не всегда действенны, что побуждает исследователей разрабатывать новые методы борьбы с данной проблемой.

Одним из потенциальных решений данного вопроса может являться биоремедиация – комплекс очистки различных загрязнений с помощью метаболического потенциала того или иного организма. Углеводородокисляющая способность была показана у широкого круга организмов: бактерий, цианобактерий, грибов, водорослей и грибоподобных организмов (Raikar et al., 2001, Head et al., 2006). В настоящее время большинство исследований данной проблемы проводятся на бактериях, но грибы и грибоподобные организмы также отвечают необходимым условиям для использования в биоремедиации (Harms et al., 2011).

Было показано, что грибы могут окислять различные углеводороды, в том числе линейные, разветвленные и полициклические ароматические алканы (Harms et al., 2011, Park et al., 2019). Все это возможно благодаря множеству различных внутриклеточных (цитохром P450 монооксигеназа, различные трансферазы) и внеклеточных ферментов (лигнин пероксидаза, гем-тиоловая пероксигеназа) (Harms et al., 2011). При исследовании аскомицетов песчаных пляжей Мексиканского залива было показано, что грибы чаще разлагают короткие ($<C_{18}$), нежели длинные ($C_{19} – C_{36}$) алканы; линейные C_{17}- и C_{18}-алканы, нежели разветвленные пристан и фитан. Среди полициклических ароматических алканов более подверженным разложению были низкомолекулярные соединения (Simister et al., 2015). Однако, изоляты, отобранные в Аравийском море и эстуарных мангровых зарослях о. Гоа чаще разлагали длинные алканы (Barnes et al., 2018). Среди грибоподобных организмов была отмечена возможность разложения тарболлов траустохитридами, однако конкретный механизм пока неизвестен (Raikar et al., 2001).

Способность к росту на средах с углеводородами в качестве единственного источника углеродов была показана у множества грибов из родов: *Aspergillus, Cephalosporium, Candida, Fusarium, Penicillium, Saccharomyces, Pleurotus, Geotrichum, Cladosporium, Alternaria, Mucor* и другие (Harms et al., 2011, Garzoli et al., 2015, Velez et al., 2020). Наиболее продуктивными в окислении углеводородов являются грибы из родов *Aspergillus, Penicillium, Fusarium*. Так, например, *Aspergillus terreus* и *Fusarium solani*, выделенные с пляжей Мексиканского залива после разлива нефти в 2010 году, при инкубации в смеси кварцевого песка и сырой нефти (10мг сырой нефти на 1г песка) в течение 6 недель разложили, в среднем, 46 и 41% сырой нефти соответственно (Simister et al., 2015). Исследование углеводородокисляющей способности грибов после разлива нефти недалеко от о. Сицилия показало, что *A. terreus* и *Penicillium citreonigrum* разложили 40 и 24% сырой нефти после 10 дней инкубации в смеси жидкой среды ONR7a и сырой нефти (1% сырой нефти на объем среды) соответственно (Bovio et al., 2017). При изучении 84 изолятов порта Оран, Алжир, наилучшие результаты показали *Penicillium polonicum, P. chrysogenum* и *P. cyclopium* (Maamar et al., 2020). В данном эксперименте к агаризованной среде с сырой нефтью добавляли краситель DCPIP, который при восстановлении становится прозрачным, что позволяет судить о наличии окислительно-восстановительных реакций, которые происходят при окислении микроорганизмами источника углерода.

К сожалению, на данный момент углеводородокисляющая способность грибов и грибоподобных организмов плохо изучена, особенно в морских условиях. Тем не менее, множество представителей этой группы показывают возможность использования углеводородов в качестве единственного источника углерода. Метаболические особенности грибов в перспективе могут позволить им, в том числе в ассоциации с бактериями, быть использованными для устранения различных загрязнений как природного, так и антропогенного характера (Harms et al., 2011).

Работа поддержана грантом РФФИ 20-04-00882А.

Список литературы

Андрианов В.В., Лебедев А.А., Неверова Н.В., Лукин Л.Р., Воробьева Т.Я., Собко Е.И., Кобелев Е.А., Лисицына Т.Ю., Самохина Л.А., Климов С.И. Долговременные последствия аварийного разлива нефтепродуктов в южной части Онежского залива Белого моря // Биология моря. – 2016. – Т. 42. – № 3. – С. 169-178.

Barnes N.M., Khodse V.B., Lotlikar N.P., Meena R.M., Damare S.R. Bioremediation potential of hydrocarbon-utilizing fungi from select marine niches of India // 3 Biotech. – 2018. – Vol. 8. – № 1. – P. 21.

Bovio E., Gnavi G., Prigione V., Spina F., Denaro R., Yakimov M., Calogero R., Crisafi F., Varese G.C.. The culturable mycobiota of a Mediterranean marine site after an oil spill: isolation, identification and potential application in bioremediation // Science of the Total Environment. – 2017. – Vol. 576. – P. 310-318.

Garzoli L., Gnavi G., Tamma F., Tosi S., Varese G. C., Picco A. Sink or swim: Updated knowledge on marine fungi associated with wood substrates in the Mediterranean Sea and hints

about their potential to remediate hydrocarbons // Progress in oceanography. – 2015. – Vol. 137. – P. 140-148.

Harms H., Schlosser D., Wick L.Y. Untapped potential: exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals // Nature Reviews Microbiology. – 2011. – Vol. 9. – № 3. – P. 177-192.

Head I.M., Jones D.M., Roling F.M. Marine microorganisms make a meal of oil // Nature. – 2006. – Vol. 4. – P. 173-182.

Maamar A., Lucchesi M., Debaets S., van Long N.N., Quemener M., Coton E., Bouderbala M., Burgaud G., Mattalah-Boutiba A. Highlighting the Crude Oil Bioremediation Potential of Marine Fungi Isolated from the Port of Oran (Algeria) // Diversity. – 2020. – Vol. 12. – № 5. – P. 196.

Park M.S., Oh S., Fong J.J., Houbraken J., Lim Y.W. The diversity and ecological roles of Penicillium in intertidal zones // Scientific reports. – 2019. – Vol. 9. – № 1. – P. 1-11.

Raikar M.T., Raghukumar S., Vani V., David J.J., Chandramohan D. Thraustochytrid protists degrade hydrocarbons // Indian Journal of Marine Sciences. – 2001. – № 3 (30). – P. 139–145.

Simister R.L., Poutasse C.M., Thurston A.M., Reeve J.L., Baker M.C., White H.K. Degradation of oil by fungi isolated from Gulf of Mexico beaches // Marine pollution bulletin. – 2015. – Vol. 100. – № 1. – P. 327-333.

Velez P., Gasca-Pineda J., Riquelme M. Cultivable fungi from deep-sea oil reserves in the Gulf of Mexico: Genetic signatures in response to hydrocarbons // Marine environmental research. – 2020. – Vol. 153. – P. 104816.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ БИОТИЧЕСКИХ И АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТКАНЯХ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ КАРСКОГО МОРЯ.

Будько Дмитрий Федорович[1], Лобус Николай Васильевич[1],
Демина Людмила Львовна[1], Веденин Андрей Александрович[1]
[1] Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва

Введение

Двустворчатые моллюски являются наиболее подходящими объектами для использования в качестве биоиндикаторов содержания химических элементов в окружающей среде (Rainbow et al., 2000). Пищевой стратегией моллюсков служит безвыборочная фильтрация с потреблением из водной толщи органического детрита (детритофаги). При этом они извлекают из воды соединения кальция и другие макро- и микроэлементы. Способность двустворчатых моллюсков к накоплению из окружающей среды многих химических элементов, привязанность к определенной локации и широкая распространенность в разных местах обитания определили использование этого таксона в биомониторинге загрязнения прибрежной морской среды (Zhou et al., 2008; Dame, 2012).

За счет более активного метаболизма мягкие ткани моллюсков, как правило, обогащены микроэлементами по сравнению с раковинами, поэтому исследование биоаккумуляции микроэлементов в раковинах моллюсков долгое время вызывало меньший интерес. Однако при пересчете содержания элементов на целый организм моллюска с учетом весовой доли раковины, значительно превышающей мягкие ткани, роль карбонатных створок моллюсков в биоаккумуляции химических элементов существенно повышается (Демина и др., 2010). В последнее время раковины двустворчатых моллюсков стали рассматриваться в качестве инструмента для проведения реконструкций условий палеосреды благодаря хорошей сохранности в донных отложениях после отмирания организма, и возможности извлекать информацию из колец роста раковин с субгодичным разрешением (Smaal et al., 2018).

Карское море занимает ключевую позицию в функционировании всей арктической экосистемы, поскольку на этот морской бассейн приходится около 45% всего пресноводного стока, поступающего в Северный Ледовитый океан. Кроме того, Карское море подвержено крупнейшим экологическим рискам среди всех арктических морей, что связано с могильниками радиоактивных отходов в северо-западной части моря и заливах Новой Земли, поступлением загрязняющих веществ с массивным аллохтонным стоком рек Оби и Енисея и промышленным освоением запасов газа и нефти на шельфе моря (Флинт и др., 2020). Между тем, биогеохимическая структура экосистем Карского моря и многие другие вопросы на сегодняшний день не достаточно изучены.

Исследовано содержание тяжелых металлов и мышьяка в трех массовых видах двустворчатых моллюсков (исландский гребешок (*Chlamys islandica*), гиателла арктическая (*Hiatella arctica*) и исландский моллюск (*Ciliatocardium ciliatum*)) и донных отложениях Карского моря. Перед исследованием ставятся следующие научные задачи: (1) сравнение содержания металлов и мышьяка в мягких тканях и раковинах двустворчатых моллюсков; (2) оценка межвидовых различий; (3) определение воздействия возраста моллюсков на накопление в них химических элементов; (4) исследование связи между содержанием химических элементов в тканях моллюсков и в среде их обитания.

Материалы и методы.

Отбор проб осуществлялся в 128 рейсе НИС «Профессор Штокманн» в 2014 году. Пробы донных отложений и трех видов двустворчатых моллюсков в количестве 40 организмов были отобраны на 2 станциях, одна из которых расположена восточнее арх. Новая Земля (ст. 45), тогда как другая рядом с п-овом Таймыр (ст. 32) (рис. 1). Пробы двустворчатых моллюсков промывали дистиллярованной водой, измеряли размер раковин и взвешивали. Раковины отделяли от мягких тканей пластиковым пинцетом и отдельно высушивали методом

лиафильной сушки. Возраст моллюсков определялся путем подсчета годовых колец роста на раковинах под бинокуляром. Разложение проб и химический анализ (Fe, Mn, Zn, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Hg, As и Cd) выполняли в Аналитическом сертифицированном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН методами ИСП-АЭС и ИСП-МС с использованием спектрометров iCAP-6500 и X-7 соответственно (Thermo Scientific, США). Контроль правильности анализа проводили с использованием международных стандартных образцов NIST 2976 (мягкие ткани мидий) и NIST 2702 (морские осадки).

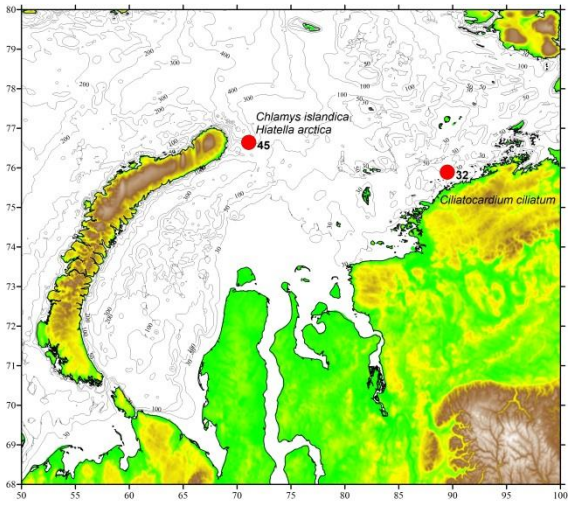


Рис. 1. Расположение станций отбора проб двустворчатых моллюсков и донных отложений в Карском море.

Результаты.

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в исследуемых видах двустворчатых моллюсков представлено в табл. 1. Мягкие ткани гиателл и исландского моллюска достоверно обогащены относительно раковин всеми исследуемыми элементами (t-тест, $p<0.05$). При этом содержание Co в раковинах гребешка, Ni в раковинах исландского моллюска и Hg во всех пробах раковин моллюсков оказалось ниже предела обнаружения равного 0.08, 0.40 и 0.003 мкг/г, соответственно. В раковинах гребешка выявлено обогащение Mn (среднем в 3 раза) по отношению к мягким тканям. Морфометрические характеристики раковин гребешка существенно превышают данные характеристики раковин двух других видов моллюсков, поэтому хорошо известный процесс осаждения оксигидроксидов Mn на поверхности раковин моллюсков только в случае гребешка способствует обогащению раковин этим металлов относительно мягких тканей. Содержание Ni и Pb не имеет отличий между мягкими тканями и раковинами исландского гребешка.

Межвидовые различия в содержании исследуемых металлов между тремя видами двустворчатых моллюсков существенны (one-way ANOVA, $p<0.05$). Даже в случае гребешка и гиателлы, которые были отобраны на одной станции, что говорит об одинаковых абиотических условиях, межвидовые отличия выявлены для большинства исследуемых элементов, кроме Ni и As в мягких тканях, и Co и Pb в раковинах. По-видимому, это связано с индивидуальными особенностями механизмов потребления и выведения химическим элементов исследуемыми организмами. Также может сказываться различная возрастная структура организмов внутри каждой выборки. В мягких тканях исландского моллюска было выявлено более высокое содержание Mn, Ni, Cu, As и Hg по отношению к двум другим видам. При сравнении содержания исследуемых элементов в донных отложениях, как среде обитания двустворчатых моллюсков, какие-либо закономерности в распределении эссенциальных элементов между двумя станциями отбора проб не наблюдаются. Но стоит заметить, что повышенное содержание токсичных элементов (As и Hg) обнаружено на станции 32 (у п-ова Таймыр), где и были отобраны моллюски вида *Ciliatocardium ciliatum*.

Биоаккумуляция ртути морскими организмами ранее была показана во множестве исследований (Coelho et al., 2013).

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов и мышьяка (среднее ± стандартное отклонение) в мягких тканях (м.т.) и раковинах трех видов двустворчатых моллюсков Карского моря.

Элемент	*Chlamys islandicus*		*Hiatella arctica*		*Ciliatocardium ciliatum*	
	м.т.	раковины	м.т.	раковины	м.т.	раковины
Fe	957±404	217±87	2468±1215	77±43	2216±650	35±16
Mn	13±5	38±14	138±122	16±2.8	692±296	63±18
Zn	162±34	8.3±2.4	110±23	4.4±2.4	75±10	1.2±0.3
Cr	2.4±1.1	1.4±0.3	4.9±2.7	2.7±1.2	4.1±1.2	0.2±0.1
Co	0.95±0.3	< ПО	2.0±1.4	0.14	1.2±0.3	0.3±0.2
Ni	4.2±1.3	4.2±0.9	5.0±2.0	2.3±0.9	22±6	< ПО
Cu	6.5±1.2	0.84±0.58	7.5±1.2	1.5±0.6	25±5	3.2±0.3
As	14.1±2.7	5.3±2.8	15.5±2.8	8.2±4.1	20.2±1.9	0.5±0.1
Cd	18.7±6.0	0.14±0.04	4.1±0.97	0.3±0.1	0.6±0.3	0.02±0.01
Hg	0.17±0.04	< ПО	0.12±0.04	< ПО	0.30±0.08	< ПО
Pb	0.6±0.2	0.6±0.2	2.4±1.7	0.5±0.1	0.6±0.2	0.05±0.03

< ПО – меньше предела обнаружения

Зависимость между возрастом организма и накоплением в его тканях металлов и мышьяка была оценена на примере моллюска гиателла арктическая. Выборка проб этого моллюска оказалась наиболее представительна (n=23) с минимальным и максимальным возрастами организмов 9 и 20 лет, соответственно. Методом аналитической группировки организмы были разбиты на четыре возрастные группы: 9-10, 12-14, 15-16 и 18-20 лет. По таким элементам как Ni, Cu, Zn и Cd отличия между возрастными группами моллюска гиателла не установлены (one-way ANOVA, $p<0.05$). Между группами 9-10 и 12-14 лет также отсутствуют отличия по всем исследуемым элементам. По Fe, Mn, Cr, Co, Pb, As и Hg наблюдается значимое увеличение содержания в возрастных группах 15-16 и 18-20 лет по сравнению с двумя более молодыми группами организмов. В раковинах моллюсков достоверные отличия между возрастными группами установлены только для Cu. При этом в раковинах молодых организмов (9-10) содержание меди выше, чем в самой возрастной группе (18-20 лет).

Концентрационную функцию двустворчатых моллюсков оценивали с помощью коэффициента концентрирования, рассчитываемого как отношение содержания элемента в организме к содержанию этого элемента в среде ($CF = C_{эл.\ орг.} / C_{эл.\ среда}$). Сравнивалось содержание элементов в мягких тканях по сравнению с их содержанием в поверхностном слое донных отложений. Для большинства исследуемых элементов показано отсутствие обогащения мягких тканей всех трех видов моллюсков ($CF<1$). В случае Cd установлено экстремально высокое обогащение мягких тканей моллюсков (до CF 276 для вида гребешок гренландский). Кадмий является единственным элементом, обогащение которым выявлено в раковинах моллюсков (CF до 5). Для Hg наблюдается умеренное обогащение мягких тканей моллюсков (CF 3-5). Несущественное обогащение (CF 1-2) установлено также для Zn. При сравнении с условно фоновыми значениями ($Zn < 200$, $Cu < 10$, $Pb < 5$, $Cd < 2$ мкг/г) для моллюсков морей северной Европы (Laane, 1992) также выявляется очень высокое содержание Cd в мягких тканях гребешка, превышающее фоновое значение в среднем в 9 раз, и гиателлы арктической (в среднем в 2 раза выше фонового значения). Содержание Cu в мягких тканях исландского моллюска превышает фоновое значение в среднем в 2.5 раза.

Заключение

Изучена аккумуляция тяжелых металлов и мышьяка в трех массовых видах двустворчатых моллюсков Карского моря. Установлено значимое обогащение мягких тканей

моллюсков относительно раковин всеми исследуемыми элементами за исключением Mn, который осаждается на раковинах в виде пленок оксигидроксидов. Показаны существенные межвидовые различия в содержании химических элементов между исследуемыми видами моллюсков. Предполагается, что основную роль в межвидовых различиях по концентрациям элементов оказывают индивидуальные особенностями механизмов потребления и выведения химическим элементов исследуемыми организмами по сравнению с воздействием абиотических факторов.

В мягких тканях моллюска гиателлы прослеживается тенденция к накоплению некоторых элементов с увеличением возраста организма. Содержание Fe, Mn, Cr, Co, Pb, As и Hg выше в моллюсках возрастной группы 15-16 и 18-20 лет по сравнению с более молодыми особями (9-10 и 12-14 лет).

В исследовании обнаружено существенное обогащение мягких тканей моллюсков Карского моря токсичным металлом Cd, а также показана биоаккумуляция Hg в мягких тканях трех видов исследуемых моллюсков.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 19-77-00108).

Список литературы

Демина Л.Л., Гордеев В.В., Галкин С.В., Кравчишина М.Д., Алексанкина С.П. Биогеохимия некоторых тяжелых металлов и металлоидов на разрезе эстуарий реки Обь – Карское море // Океанология. – 2010. – Т. 50, № 5. – С. 771–784.

Флинт М.В., Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А., Мирошников А.Ю. Экосистемы морей Сибирской Арктики – 2019: весенние процессы в Карском море (76-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // Океанология. – 2020. – Т. 60, № 1. – С. 154–157.

Butler, P.G., Wanamaker, A.D., Scourse, J.D., Richardson, C.A. and Reynolds, D.J. Variability of marine climate on the North Icelandic Shelf in a 1357-year proxy archive based on growth increments in the bivalve Arctica islandica // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2013. – Vol. 373. – P. 141–151.

Coelho J.P., Mieiro C.L., Pereira E. et al. Mercury biomagnification in a contaminated estuary food web: Effects of age and trophic position using stable isotope analyses // Marine Pollution Bulletin. – 2013. – Vol. 69. – P. 110–115.

Dame, R.F. Introduction. In Ecology of Marine Bivalves, An Ecosystem Approach. CRC Press: Boca Raton, FL, USA. – 2012. – P. 1–19.

Laane R.W.P.M. Background concentrations of natural compounds in rivers, sea water, atmosphere and mussels // Report DGW-92.033, Tidal Waters Division, Ministry of transport, public works and water management. The Haague. – 1992. – 84 P.

Rainbow P.S., Wolowicz M., Fialkowski W., Smith B.D., Sokolowski A. Biomonitoring of trace metals in the Gulf of Gdansk, using mussels (Mytilus Trossulus) and barnacles (Balanus Improvisus) // Wat. Res. – 2000. – Vol. 34, No. 6. – P. 1823–1829.

Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K. and Strand, Ø. Goods and services of marine bivalves // Springer International Publishing. – 2018. – 591 P.

Zhou, Q., Zhang, J., Fu, J., Shi, J. and Jiang, G. Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem // Analytica Chimica Acta. – 2008. – Vol. 606. – P. 135–150.

РЕПРОДУКТИВНАЯ СИСТЕМА МАССОВЫХ БЕЛОМОРСКИХ КОПЕПОД: ТРЁХМЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ

Юрикова Дарья Андреевна[1], Кособокова Ксения Николаевна[2], Петрунина Александра Сергеевна[1]

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

[2] Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва

Введение

Веслоногие ракообразные (Copepoda) – это обширная группа ракообразных, освоивших различные местообитания, связанные с водной средой: их можно встретить практически везде, где есть вода, от устьев листьев до открытого океана. В морской пелагиали важную роль играют каляноидные копеподы, отряд Calanoida Sars, 1903 (Humes, 1994). Они осуществляют связь между пелагическими продуцентами и организмами, занимающими более высокие трофические уровни в морских пищевых сетях (Turner, 2004).

По поведенческим механизмам и различиям в морфологии генитальных структур всех холодноводных каляноидных копепод делят на две группы. Первая объединяет представителей надсемейства Centropagoidea. Они зимуют в состоянии покоящихся яиц, и их самки не способны в течение долгого времени сохранять сперматозоиды, полученные от самцов в процессе спаривания. Ко второй группе относятся представители остальных надсемейств отряда Calanoida, для которых характерно наличие сперматек у самок и зимовка на поздних копеподитных стадиях.

Морфология гонад напрямую связана с репродуктивной активностью видов, поэтому изучение строения половой системы планктонных каляноидных копепод имеет важное значение для понимания их успеха в пелагической среде (Ceballos-Vazquez et al., 2009). Протекание оогенеза схоже у всех видов копепод, однако структура гонад, их изменения в репродуктивном цикле, а также локализация созревающих ооцитов существенно различаются у разных видов (Ceballos-Vazquez et al., 2009; Niehoff, 2007). Нихов (Niehoff, 2007) выделила четыре типа строения гонад самок каляноидных копепод, различающихся по характеру расположения и последовательности созревания ооцитов: типы *Calanus*-, *Pseudocalanus*-, *Acartia*-, и *Aetidius*-types. Гонады *Calanus*-type с дорсально расположенным грушевидным яичником, один конец которого сужается, и одновременным созреванием ооцитов в дорсовентральном направлении характерны для самок родов *Calanus, Metridia, Centropages* и *Temora* (Niehoff, 2007).

В нашей работе было проведено комплексное исследование репродуктивной системы и определены тип строения, стадии развития гонад, а также репродуктивный статус самок четырёх массовых видов каляноидных копепод Белого моря, принадлежащих к трём надсемействам: *Centropages hamatus* Lilljeborg, 1853 и *Temora longicornis* Müller, 1785 (Centropagoidea), *Calanus glacialis* Jaschnov, 1955 (Megacalanoidea) и *Metridia longa* Lubbock, 1854 (Arietelloidea).

Материал и методы

Материал, использованный в работе, был взят из проб, собранных в Белом и Северном морях в апреле, мае и сентябре 2019 года. В Белом море пробы отбирали сетями Джеди с фильтрующим конусом из газа с ячеей 180 мкм. В Северном море – сетями WP-2 с ячеей 150-200 мкм. В обоих случаях водную толщу облавливали вертикально по двум условным

горизонтам: поверхностный слой с глубины 10–20 метров до поверхности и более глубокий слой с глубины 80–100 метров до поверхности.

Для визуализации структур репродуктивной системы ракообразных мы использовали световую микроскопию, сканирующую (СЭМ) и трансмиссионную электронную микроскопию (ТЭМ), и конфокальную лазерную микроскопию (КЛСМ). При подготовке образцов к исследованию методами световой микроскопии и КЛСМ использовали красители. Для визуализации яичников и половых протоков самок, фиксированных формалином, окрашивали витальным красителем – борным кармином, – по методике, описанной в статье Кособоковой К.Н. (Kosobokova, 1999). Для усиления автофлуоресценции хитина в структурах, покрытых кутикулой, объекты окрашивали красным конго (Kamanli et al., 2017).

Впервые для изучения копепод был применён метод создания трёхмерных реконструкций по сериям полутонких срезов. Подготовка объектов для создания 3D-реконструкций осуществлялась в соответствии со стандартным протоколом подготовки к изучению методами ТЭМ.

Результаты и обсуждение

Самки, у которых было исследовано внутреннее строение репродуктивной системы методами световой и трансмиссионной электронной микроскопии, были пойманы в начале сентября. В это время они находились на разных стадиях созревания гонад, следовательно, имели различный репродуктивный статус. У исследованных нами самок *C. glacialis* были обнаружены пустые дивертикулы и яичник с небольшим количеством половых клеток, находящихся на ранних стадиях созревания. Вероятно, особь, для которой была получена серия полутонких срезов и впоследствии построена трёхмерная реконструкция, на момент сбора проб уже закончила нерест и готовилась к зимовке. Это хорошо соотносится с данными о жизненном цикле *C. glacialis*, который в Белом море считается двухлетним (Кособокова, Перцова, 1990, 2005; Kosobokova, 1999).

Собранные нами самки *M. longa* были зрелыми и осеменёнными, и в их половых протоках были обнаружены ооциты на четырёх стадиях развития из пяти, за исключением самой последней стадии – яиц, готовых к вымету. Самки *M. longa* нерестятся с разной интенсивностью в течение почти всего года (Кособокова, 2012; Перцова, 1974).

Гонады самок вида *C. hamatus* не в полной мере соответствуют строению типа *Calanus*-type. Ооциты у них созревают не только в дорсовентральном, но и в радиальном направлении. То же сообщается в работах по исследованию близкого вида, *C. furcatus*, и там тип созревания гонад выделен отдельно – *furcatus*-type (Ceballos-Vazquez et al., 2009).

Половая система исследованных нами самок *T. longicornis* занимала относительно большой объём в теле. В яичнике и половых протоках мы обнаружили ооциты на всех пяти стадиях развития, включая последнюю, на которой ооциты выходят через гонопоры и оплодотворяются. Созревание в яичнике идёт в дорсальном направлении, а в дивертикулах – в вентральном.

Мы обнаружили парные пучки поперечнополосатой мускулатуры, связанные с генитальными структурами – это мышцы генитальной крышечки и мышцы-расширители гонопоральных пластинок. Также у исследованных нами особей на границе просомы и уросомы была обнаружена кутикулярная складка, к которой с обеих сторон крепятся мышцы. Их функциональное значение не обозначается в литературе, и мы предполагаем их участие в выталкивании яиц из яйцеводов.

Основным морфологическим критерием, по которому объединяют надсемейства, входящие в группу non-Centropagoidea, является наличие сперматек. У самок калянуса они сообщаются между собой, а у метридий нет. Это влияет на количество успешных спариваний, ведущих к оплодотворению яиц. Генитальный атриум объединяет гонопоры и копуляторные поры, то есть выполняет функцию приёма сперматозоидов и места оплодотворения яиц. У самок метридии атриума нет, и все генитальные отверстия (гонопоры, копуляторные поры, отверстия каналов сперматек) разобщены. Таким образом, привлечение к сравнению надсемейств других признаков, таких как относительное положение сперматек, наличие генитального атриума и положение гонопоральных пластинок, позволяет выделить подгруппы внутри non-Centropagoidea.

У самок надсемейства Centropagoidea (*C. hamatus* и *T. longicornis*) сперматеки отсутствуют. Половые продукты самцов находятся в атриуме до выхода яйцеклеток. Зрелые самки *T. longicornis* часто обнаруживались с открытой генитальной крышечкой. Это указывает на произошедшую копуляцию и осеменение.

Различия в морфологии соотносятся с различиями в поведении, жизненных циклах и репродуктивных механизмах. Генитальный аппарат самок *C. hamatus* и *T. longicornis* имеет сходное строение, и для обоих видов характерны сходные репродуктивные циклы, поведение при поиске партнёров и механизмы копуляции. Тем временем, существующие различия в организации генитальных сегментов у самок *C. glacialis* и *M. longa* коррелируют с различиями в сроках размножения, количествах успешных спариваний, а также половом составе популяций в разные сезоны.

Заключение

Детальное изучение строения гонад самок каляноидных копепод имеет большое значение, так как определение стадии созревания половой системы и репродуктивного статуса самки осуществляется по структуре яичника и дивертикулов. Ранее исследования репродуктивной системы каляноидных копепод и оогенеза осуществлялись по тотальным препаратам и полутонким срезам с применением световой микроскопии. В нашей работе впервые для изучения морфологии половой системы и генитальных структур был применён метод создания трёхмерных реконструкций по полутонким срезам, который позволил визуализировать структуры, входящие в состав репродуктивной системы, и их точное взаимное расположение. Применение единого комплекса методов для изучения всех четырёх видов позволило достоверно изучить даже мелкие структуры, а также провести сравнение между видами по различным морфологическим признакам.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ № 19-04-00955, 18-35-00341, а также проекта РНФ № 19-17-00058.

Список литературы

Кособокова, К. Н. Зоопланктон Арктического бассейна. Структура сообществ, экология, закономерности распределения. М.: ГЕОС, 2012. 272 с.

Кособокова, К. Н., Перцова, Н. М. Биология арктической копеподы *Calanus glacialis* в Белом море // Биологический мониторинг прибрежных вод Белого Моря. 1990. М.: ИОАН. С. 57–71.

Кособокова, К. Н., Перцова, Н. М. Зоопланктон глубоководной части Белого моря в конце гидрологической зимы // Океанология. 2005. Т. 45. № 6. С. 866–878.

Перцова, Н. М. Распределение и жизненный цикл *Metridia longa* Lubbock в Белом море // Труды Беломорской Биологической Станции МГУ. 1974b. М.: Изд-Во МГУ. Т. 4. С. 14–31.

Ceballos-Vazquez, B. P., Hernandez-Trujillo, S., Esqueda-Escarcega, G. M., Arellano-Martinez, M. Female gonad morphology of *Centropages furcatus* (Dana, 1852) // Invertebrate Reproduction and Development. 2009. V. 53. I. 2. P. 81–85. https://doi.org/10.1080/07924259.2009.9652293.

Humes, A. G. How many copepods? // Hydrobiologia. 1994. V. 292–293. I. 1. P. 1–7. https://doi.org/10.1007/BF00229916.

Kamanli, S. A., Kihara, T. C., Ball, A. D., Morritt, D., Clark, P. F. A 3D imaging and visualization workflow, using confocal microscopy and advanced image processing for brachyuran crab larvae // Journal of Microscopy. 2017. V. 266. I. 3. P. 307–323. https://doi.org/10.1111/jmi.12540.

Kosobokova, K. N. The reproductive cycle and life history of the Arctic copepod *Calanus glacialis* in the White Sea // Polar Biology. 1999. V. 22. I. 4. P. 254–263. https://doi.org/10.1007/s003000050418.

Niehoff, B. Life history strategies in zooplankton communities: The significance of female gonad morphology and maturation types for the reproductive biology of marine calanoid copepods // Progress in Oceanography. 2007. V. 74. I. 1. P. 1–47. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.05.005.

Turner, J. T. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs // Zoological Studies. 2004. V. 43. P. 255-266.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ АКВАТОРИЙ НА БАЗЕ ОПЕРАТИВНОЙ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Барканова Т.Б.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», ВНИРО, Москва

В Отделе спутникового мониторинга среды обитания Департамента мониторинга запасов, экспедиционных исследований и промышленного рыболовства ФГБНУ ВНИРО на протяжении последних 30-ти лет ведется непрерывный мониторинг изменчивости температурных условий в основных промысловых районах Мирового океана, в том числе и в районах Юго-Западной и Центрально-Восточной Атлантики (ЮЗА и ЦВА). Мониторинг основан на анализе оперативной спутниковой информации в ИК-диапазоне и подспутниковых квазисинхронных измерений температуры поверхности океана (ТПО) [Ванюшин и др. 2005]. Параллельно ведется оперативный мониторинг динамических образований, на базе анализа спутниковой информации в видимом диапазоне спектра. Оперативные карты ТПО и карты комплексного анализа используются специалистами при осуществлении оперативного управления промыслом, при изучении изменчивости температурных условий акватории и оценке их влияния на формирование биопродуктивности района и промысел водных биологических ресурсов, в частности, аргентинского короткоперого кальмара *Illex argentinus* в районе ЮЗА, и скумбрии, сардины и ставриды в районе ЦВА. В работе рассматривается динамика поверхностных вод промысловой акватории, как один из важных факторов, влияющих на начало и ход промысла водный биологических объектов.

В районе ЮЗА, где характерной морфологической особенностью является наличие самого большого мелководья южной части Мирового океана Фолклендско-Патагонского шельфа и материкового склона, влияние динамики поверхностных вод на промысел ВБР особенно заметен. Сложность динамических процессов, высокие температурные градиенты, особенности взаимодействия основных течений и высокое содержание биогенных элементов в поверхностном слое, способствующих активному развитию фито- и зоопланктона, не только в шельфовых водах, но также и в океанических водах на значительном удалении от шельфа, являются отличительной чертой данного промыслового района и оказывают значительное воздействие на формирование биопродуктивности акватории и промысел. Один из критериев, влияющих на объемы промысла аргентинского короткоперого кальмара *Illex argentinus*, является «отклонение стрежня Фолклендского течения от границ 200-мильной Исключительной Экономической Зоны (ИЭЗ) на 46˚ю.ш. в январе» [Барканова, Глубоковский 2014] . Мониторинг положения стрежня легко осуществляется по недельным и среднемесячным картам ТПО, по оперативной спутниковой информации в видимом диапазоне (https://worldview.earthdata.nasa.gov/), где уверенно дешифрируются поля фитопланктона, взвесей и динамические образования в приповерхностном слое воды, и по картам осредненных значений концентрации фитопланктона (ФП), полученных со специализированных спутников (рис.1).

Накопленные в результате исследований данные могут использоваться в системах рыбохозяйственного экологического мониторинга ЮЗА. При возобновлении отечественного промысла аргентинского кальмара, есть возможность повысить эффективность промысла за счет внедрения результатов анализа оперативной и архивной спутниковой информации в прогностические модели, создаваемые для принятия решений при управлении промыслом ВБР.

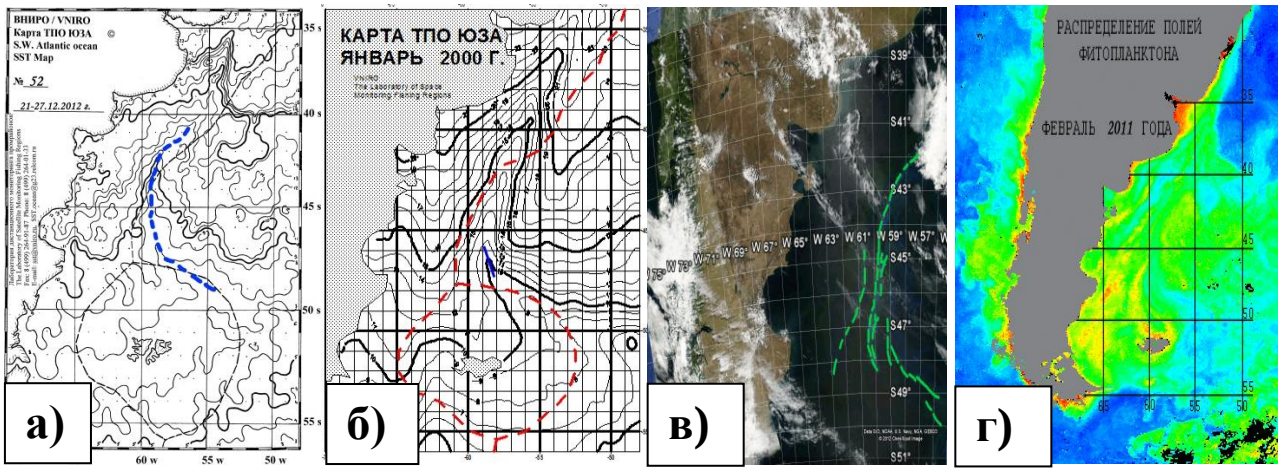
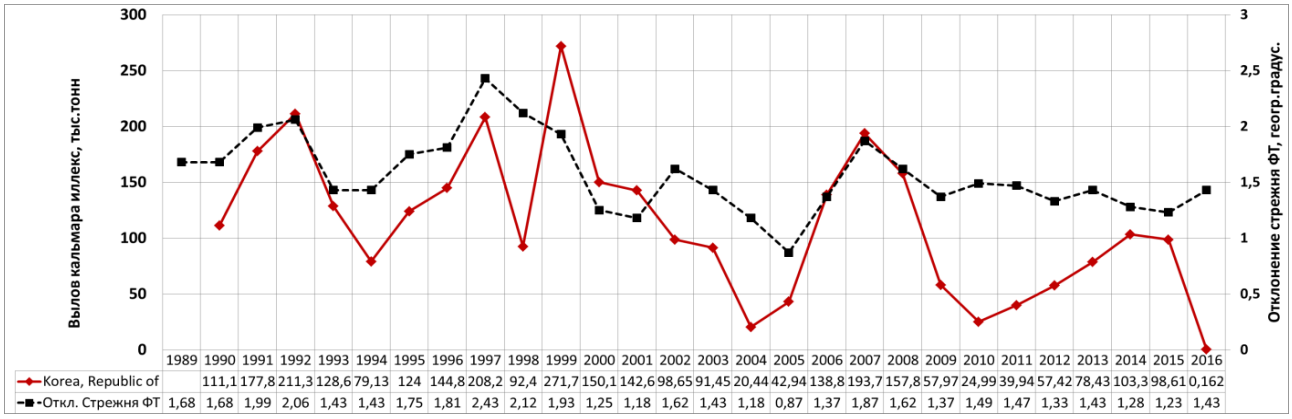


Рис. 1 Мониторинг положения стрежня Фолклендского течения по недельным картам ТПО (**а**), по среднемесячным картам ТПО (**б**), по оперативной спутниковой информации в видимом диапазоне (**в**), по картам осредненных значений концентрации ФП (**г**).



	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Korea, Republic of		111,1	177,8	211,3	128,6	79,13	124	144,8	208,2	92,4	271,7	150,1	142,6	98,65	91,45	20,44	42,94	138,8	193,7	157,8	57,97	24,99	39,94	57,42	78,43	103,3	98,61	0,162
Откл. Стрежня ФТ	1,68	1,68	1,99	2,06	1,43	1,43	1,75	1,81	2,43	2,12	1,93	1,25	1,18	1,62	1,43	1,18	0,87	1,37	1,87	1,62	1,37	1,49	1,47	1,33	1,43	1,28	1,23	1,43

Рис. 2 Отклонение стрежня Фолклендского течения от границ 200-мильной ИЭЗ Аргентины на 46˚ ю.ш. в январе 1989-2016 гг. и вылов аргентинского кальмара Кореей в 1990-2016 гг.

Один из основных факторов, влияющих на ход промысла в районе ЦВА у побережья Северо-Западной Африки, является прибрежный апвеллинг. Его возникновению способствуют устойчивые пассатные ветра, дующие вдоль берега или слегка отклоненные в сторону от берега. Пассат вызывает перенос воды на поверхности от берега. Возникающий при этом дефицит массы компенсируется подъемом вод из промежуточных слоев, богатых питательными веществами, которые являются основой для формирования зон повышенной биологической продуктивности (полей фито и зоопланктона), что является причиной образования промысловых скоплений рыб. Учитывая, что наличие ячеек апвеллинга непостоянно (они могут то возникать, то пропадать, смещаться южнее или севернее, могут изменяться их площадь и интенсивность действия), информация о координатах зон повышенной биологической продуктивности являются очень важной для рыболовного флота, ведущего промысел таких объектов, как скумбрия, сардина и ставрида. Используя карты ТПО недельной дискретности, карты аномалий ТПО различной дискретности и оперативную аналоговую информацию в видимом и ИК- диапазонах, можно уверенно вести мониторинг ядер апвеллинга (т.е. контролировать момент возникновения, время существования, площадь и интенсивность действия) (рис.3, 5).

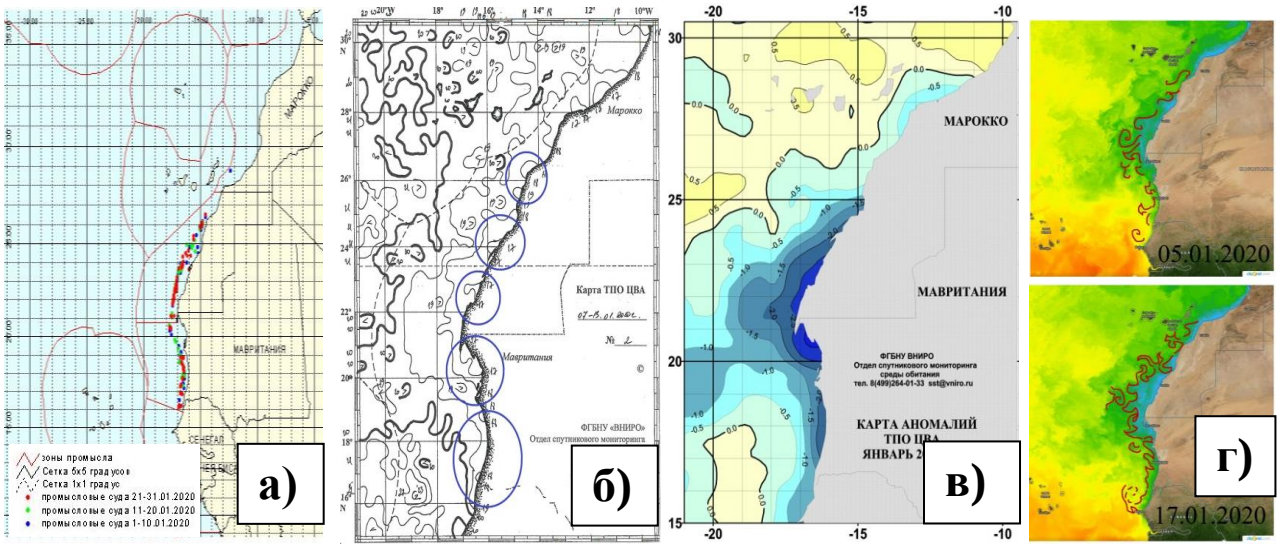
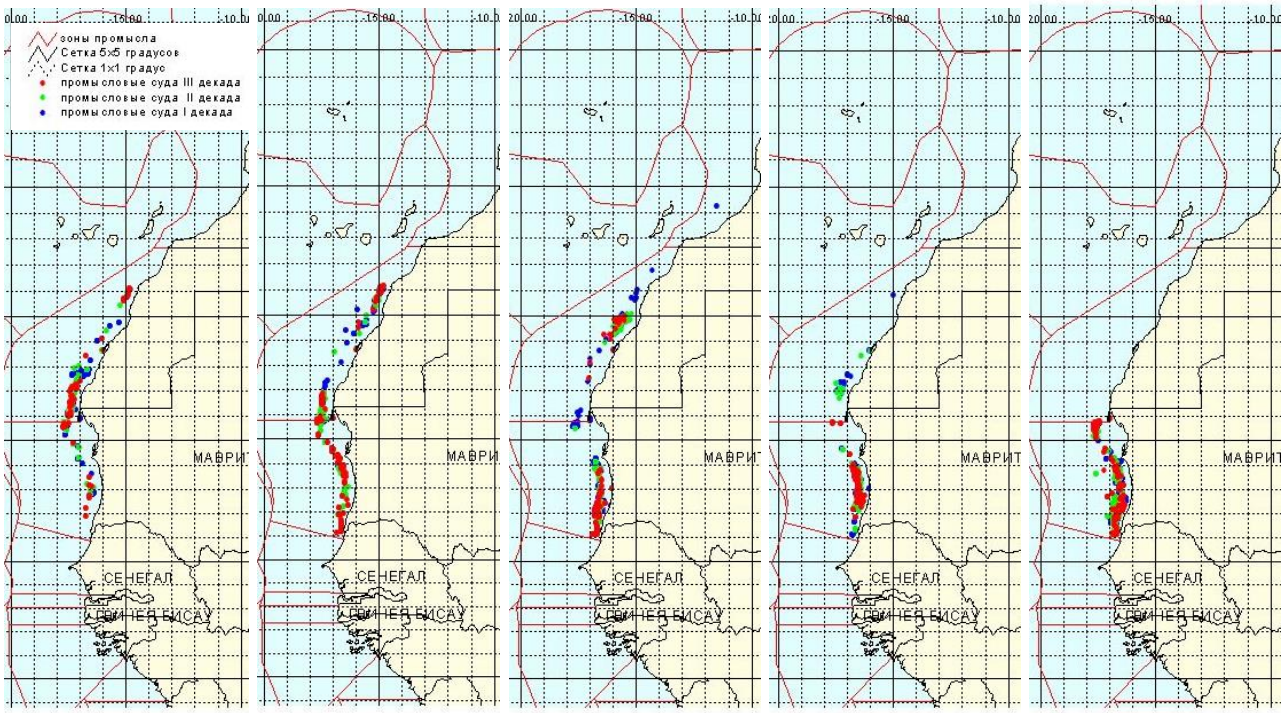


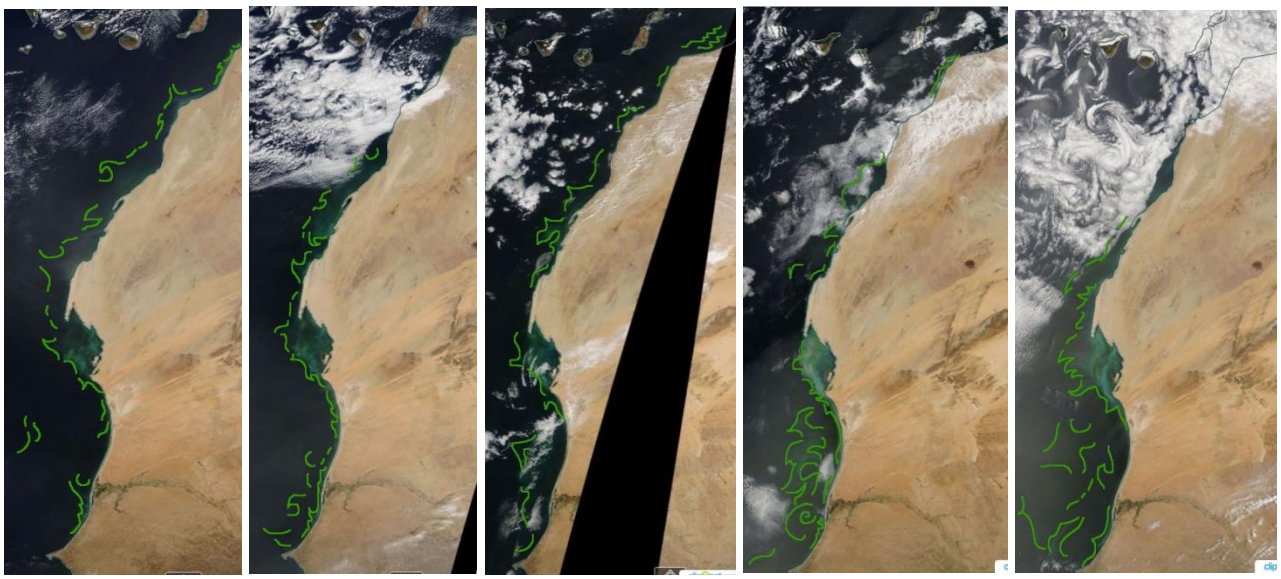
Рис. 3 Дислокация промысловых судов в районе ЦВА в зонах африканских государств в январе 2020 года по декадам (**а**), карта ТПО недельной дискретности (07-13.01.2020), на которой фиксируются ядра апвеллинга (**б**), карта аномалий ТПО в январе 2020 года (**в**), оперативная спутниковая информация ИК-диапазона (https://podaac.jpl.nasa.gov/dataaccess) с дешифрируемыми динамическими образованиями (**г**).

Как правило, постановка промысловых судов на оперативное информационное обеспечение об изменчивости ТПО и динамике поверхностных вод дает возможность повысить объемы промысла в несколько раз [Ванюшин и др. 2009].



декабрь 2017 январь 2018 февраль 2018 март 2018 апрель 2018

Рис. 4 Дислокация промысловых судов в зонах африканских государств в период с декабря 2017 по апрель 2018 гг.



14.12.2017 11.01.2018 26.02.2018 02.03.2018 26.04.2018

Рис. 5 Оперативная спутниковая информация в видимом диапазоне в выбранные даты с декабря 2017 по апрель 2018 гг, где уверенно дешифрируются ядра апвеллинга и другие динамические образования в приповерхностном слое воды (https://worldview.earthdata.nasa.gov/).

Список литературы:

Барканова Т.Б., Глубоковский М.К. Использование систем дистанционного зондирования Земли при управлении промыслом аргентинского кальмара. Вопросы рыболовства. 2014 , том 15, №2 С. 270-281.

Барканова Т.Б. Использование систем дистанционного зондирования Земли как технических средств промысловой разведки (на примере района Юго-Западной Атлантики). Научные труды Дальрыбвтуза, 2018, №1 (т.44), с. 60-66. ISSN 2222-4661.

Ванюшин Г.П., Котенев Б.Н., Кружалов М.Ю. и др. Трехуровневый мониторинг температурных условий промысловых районов Мирового океана // Вопросы промысл. океанологии. 2006. В 3. М.: Изд-во ВНИРО С. 205-215

Ванюшин Г.П., Кружалов М.Ю., Булатова Т.Б. Спутниковое информационное обеспечение мониторинга температурных условий в промысловых районах Центрально-Восточной Атлантики. Сб.: Вопросы промысловой океанологии, вып. 6., №1. Москва, изд. ВНИРО, 2009 г., с. 140-149.

НАУЧНЫЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА «БОЛЬШАЯ АРКТИЧЕСКИЙ ЭКСПЕДИЦИЯ 2018»

Смирнов И. А.[1], Шпаро М. Д.[2]

[1]заместитель директора по контролю качества образования Гимназии святителя Василия Великого), [2] Директор ГБУ города Москвы «Центр дополнительного образования «Лаборатория путешествий»

В 2018 году впервые в составе «Большой арктической экспедиции» (образовательного проекта Департамента образования и науки г. Москвы) был набран школьный исследовательский отряд «Барнео», проводивший исследования в непосредственной близости от Северного полюса на одноименной дрейфующей станции. Участниками экспедиции могли стать московские школьники в возрасте 16 – 18 лет, прошедшие специальный отбор. Всего было подано более 10000 заявок, а победителями, отправившимися в экспедицию, стали 7 старшеклассников, которые успешно прошли «Арктический диктант» и показали свои навыки исследователя в рамках научного квеста и конференции «Артика», прошедшей весной 2018 года в парке «Зарядье».

На этапе планирования образовательной программы были определены следующие направления: метеорологические наблюдения, исследования физико-химических параметров льда, изучение видового состава и численности фито- и зообентоса, сбор образцов планктона, морской воды и льда для Центра морских исследований МГУ имени М. В. Ломоносова, Биологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова и Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, а также тестирование учебного оборудования и развертывание КВ-радиостанции. При выборе направлений исследований важно было учитывать следующие факторы: тема должна была быть реализуема в условиях ограниченного времени пребывания на базе (во всяком случае на уровне сбора образцов и материалов), оборудование для проведения исследований должно быть доступно школьникам, тема должна быть интересна не только школьникам, но и научной организации, которая готова предоставить оборудование и помощь при анализе собранных образцов.

Основное направление исследований было связано с изучением планктона. Пробы фитопланктона отбирали при помощи батиметра, зоопланктона – планктонной сетью на глубинах 5, 10, 15, 20 и 25 метров. Эти пробы были частично заморожены, частично зафиксированы (5% формалином). Всего было собрано 50 проб зоо- и фитопланктона. Половина проб была передана в научные организации для дальнейшего изучения, вторая часть проб была разобрана школьниками-участниками экспедиции под руководством Е. Р. Никишевой и А. Ю. Мерзеликина (Биологический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова). далее представлены результаты анализа только второй части проб.

Стоит отметить факт практически полного отсутствия представителей фиопланктона в собранных нами пробах. Предположительно, это результат их поедания первым поколением рачков верхних слоёв воды, хотя следы фитоплактона были обнаружены при проведении подводной съёмки нижней стороны льда. Среди зооплактона, за исключением несистематизируемых науплиальных стадий, отмечено 2 вида подкл. Copepoda: *Oithona similis* Claus и *Calanus glacialis* Jaschnov (копеподитные стадии III-IV), а также отряда Beroida *Beroe cucumis* Fabricius. Отмечен рост численности рачков на глубине 25 м, что может быть связано с пикноклинальным явлением на данной глубине. Находка *Beroe cucumis* на глубине 25 метров

дополнительно подтверждает резкое возрастание численности рачков на этой глубине, т. к. подобные *Calanus glacialis* ракообразные составляют основу его рациона.

Во время экспедиции проведены метеорологические наблюдения, исследования физико-химических параметров льда и снега, результаты работы школьного отряда освещались в средствах массовой информации, социальных сетях и на мероприятиях Департамента образования и науки г. Москвы, что с учетом большого количества школьников, вовлеченных в проект, способствует популяризации темы арктических исследований и сохранения высокоширотных экосистем.

Авторы выражают благодарность исполнительному директору Центра морских исследований МГУ имени М. В. Ломоносова Н. В. Шабалину за предоставленное оборудование, а также Е. Р. Никишевой и А. Ю. Мерзеликину (Биологический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова) за работу со школьниками по разбору и анализу собранных проб.

Использованная литература:

Melnikov I.A. Ecology of Arctic Ocean cryopelagic fauna / Herman I (Ed.) // The Arctic seas: climatology, oceanography, geology and biology. New York: Van Nostrand Reinhold, 1989. P. 235–255.

Мельников И.А. Исследования на дрейфующей ледовой станции в апреле 2008 г. // Океанология. 2008. Т. 48 (6). С. 952–953.

Мельников И.А. Панарктическая ледовая дрейфующая экспедиция (апрель 2009) // Океанология. 2010. Т. 50 (2). С. 953.

Мельников И.А. Панарктическая ледовая дрейфующая экспедиция // Океанология. 2007. Т. 47 (6). С. 952–954.

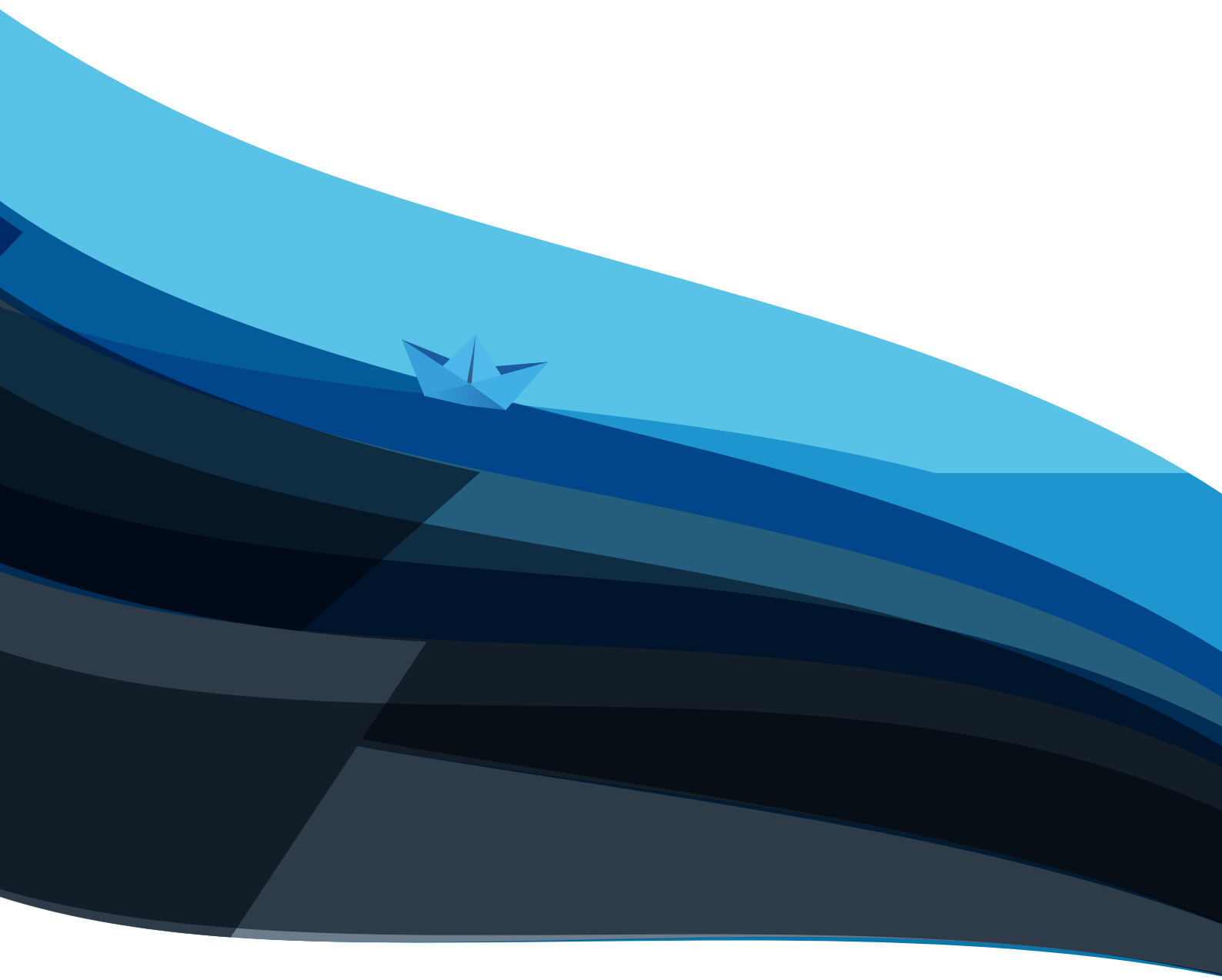
Мельников И.А. Экосистема арктического морского льда. М.: ИО АН СССР, 1989. 191 с.

Мельников И.А., Семенова Т.Н. Характеристика криопелагической фауны современного морского ледового покрова Центрального Арктического бассейна // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 4 (98). С. 14–24.

Околодков Ю.Б. Ледовая флора Восточно-Сибирского моря (по сборам в мае 1987 г.) // Novotates Systematicae Plantatucu non Vascularium. 1989. Т. 26. С. 36–41.

Околодков Ю.Б. Ледовая флора Чукотского моря (по сборам в марте–апреле 1988 г.) // Novotates Systematicae Plantatucu non Vascularium. 1990. Т. 27. С.16–20.

Павштикс Е.А. Сезонные изменения возрастного состава популяций веслоногих рачков Calanoida в Арктическом бассейне. Исследование фауны морей. Зоол. ин-т АН СССР. Л.: Наука, 1977. Т. 19 (27). С. 56–72.



www.maresedu.com