

ГИДРОБИОЛОГИЯ

Цели и задачи исследований

В наши дни растет понимание того, что изменения климата неизбежно сказываются на состоянии морских экосистем. Биологические системы морей арктического шельфа быстро реагируют на изменение абиотических условий. Уменьшение площади и толщины ледового покрова, увеличение продолжительности безледного периода неизбежно приведут к изменениям на всех трофических уровнях и снижению интенсивности энергетических потоков внутри пищевых цепей, связанным с ледовой флорой и подледной фауной.

С позиций контроля и прогноза глобальных изменений в северных морских биологических системах необходимо понимание структуры и функционирования основных биологических звеньев экосистемы – крупных донных животных (макробентос и мейобентос, консументы первого и второго порядков), а также фитопланктона (первичные продуценты).

Для оценки промысловой значимости регионов арктических морей, а также для поддержания равновесия биологических систем и эффективного управления биоресурсами важную роль в исследовании играет выявление трофических связей и положений в пищевой цепи промысловых видов животных. Несмотря на то, что Карское, Лаптевых и Восточно-Сибирское моря имеют небольшие запасы рыбопромысловых видов, которые сосредоточены в основном в устьях крупных рек, здесь по некоторым оценкам, возможна организация местного промысла (Сиренко, Алимов, 2004).

Микроорганизмы (грибы, дрожжи, бактерии) являются перспективным источником различных соединений, обладающих биологической активностью. Согласно многим исследованиям, биологическая активность морских микроорганизмов выше, чем у представителей наземной или пресноводной микробиоты. Морские грунты служат главным основным субстратом развития морских микроорганизмов, поэтому изучение микробиомов грунтов в таких уникальных местах как шельфовые зоны северных морей, а также зоны метановых сипов поможет существенно расширить наше знание о мировом океане, поможет

понять значение различных групп микроорганизмов в функционирование таких экосистем, а также обнаружить перспективные источники различных биологически активных веществ.

Объем и качество фондов культур микроорганизмов и образцов живых организмов (включая генетический материал), поддерживаемых в коллекциях мира, составляют важнейший ресурс, обеспечивающий развитие науки, биоэкономики и образования. Актуальность увеличения объема и повышения качества фондов биологических коллекций обусловлена как уникальностью и разнообразием биоресурсов, подлежащих изучению и сохранению *ex situ*, так и необходимостью решения задач, связанных с инновационным направлением развития стран мира. Вследствие этого в последние годы возрос интерес к созданию центров коллективного пользования и биобанков, с открытыми обширными базами данных о хранящихся образцах, где исследователи смогут получить подробную информацию об образцах и запросить требуемые для исследований.

Цели: получить данные о трофических связях в сообществах донных животных вдоль градиента влияния реки Лены и в районах обнаружения метановых сипов в море Лаптевых. Определить видовой состав донной фауны в районах исследований; изучить таксономическую структуру сообщества основных групп мейобентоса – червей нематод и ракообразных Harpacticoida на шельфе моря Лаптевых; определить наличие или отсутствие воздействия повышенных концентрация метана на видовой состав фауны Harpacticoida; получить данные о видовом составе и плотности фитопланктона моря Лаптевых в осенний период 2018 г.; обеспечить пробоподготовку биоматериала к криоконсервированию; получить данные о вертикальном распределении фитопланктона в море Лаптевых в осенний период для выявления зависимости распределения от абиотических факторов; выполнить микологические и микробиологические исследования мягких грунтов моря Лаптевых; провести исследование микробиомов придонного и поверхностного слоев вод моря Лаптевых.

Задачи:

- отобрать пробы вдоль субмеридионального разреза (от устья реки Лены) и на метановых полях и подготовить их для проведения анализа стабильного изотопного состава бентосных животных для изучения структуры донных пищевых цепей моря Лаптевых;

- зафиксировать образцы донных животных (макробентоса) для дальнейшего определения в лаборатории ННЦМБ ДВО РАН;

- отобрать пробы мейобентоса из верхнего слоя донных осадков в районах с фоновыми и повышенными концентрациями метана;

- провести камеральную обработку проб в стационарных условиях в ННЦМБ ДВО РАН с последующим таксономическим анализом извлеченных организмов;

- изучить видовой состав фитопланктона моря Лаптевых, определить плотность и биомассу микроводорослей, определить состав доминирующих видов в осенний период;

- дать экологическую и биогеографическую характеристику фитопланктона в районе исследований, выявить доминирующие формы микроводорослей в осеннем планктоне;

- отобрать пробы грунтов из поверхностного слоя, пробы воды с различных горизонтов и образцы донных животных на станциях, расположенных вдоль субмеридионального разреза по направлению от устья реки Лена, а также на метановых полях в море Лаптевых.

Состав группы

Гидробиологическая группа:

1. Даутова Татьяна Николаевна, к.б.н. – руководитель группы. Обязанности: организация работ отряда ННМБЦ, пробоотбор, обработка данных, написание отчета, подготовка публикаций.

2. Московцева Алена Викторовна - инженер. Обязанности: пробоотбор и изучение бентоса, подготовка проб на изотопный анализ.

3. Шульгина Мария Александровна - инженер. Обязанности: отбор и изучение фитопланктона.

4. Шилов Владимир Анатольевич – инженер. Обязанности: разбор проб бентоса.

5. Борзых Олег Геннадьевич – научный сотрудник, к.б.н. Обязанности: изучение микробиоты грунтов и бентоса.

6. Зинов Антон Андреевич – инженер. Обязанности: отбор фитопланктона.

7. Киреев Павел Александрович – инженер. Обязанности: отбор и изучение мейобентоса.

Группа обслуживания телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА).

1. Денисов Виталий Андреевич – руководитель группы. Обязанности: руководство работой ТПА.

2. Кузнецов Андрей Леонидович – инженер. Обязанности: обслуживание ТПА.

3. Букин Илья Олегович – инженер. Обязанности: обслуживание ТПА.

Методы и средства измерений

Пробы донных осадков были отобраны с помощью боксборера с площадью захвата 50x50 см (рис. 72-74). Промывка осадков осуществлялась на промывочном станке с ячейей 1 мм, забортной морской водой (рис. 76). Образцы животных для изотопного анализа были высушены в течение 48 часов при температуре 60°C. Бентосные животные для определения видовой принадлежности были зафиксированы спиртом 70% или раствором формалина (4%, забуференного).

Для сбора мейобентоса из боксборерных проб использовали пробоотборники объемом 50 мл (рис. 78); в качестве фиксатора применялся 95% этиловый спирт и 4% раствор забуференного формалина.

Для сбора проб воды для исследования фитопланктона и микофауны использована пробоотборная система "Розетта", для предварительного просмотра проб фитопланктона и посевов микроорганизмов – световой микроскоп Ergoval (рис. 79).

В рамках подготовки к депонированию образцов в ЦКП «Морской биобанк» проводилась отработка методик отбора проб биологического материала и грунтов, их первичной консервации и контроля качества. Отбор проб грунтов выполняли

стерильными инструментами, сразу после поднятия боксорера. После отбора пробы подвергались камеральной обработке и консервации. Пробы гидробионтов перед посевом и консервацией промывали стерильной морской водой и вымачивали по 5 минут в 5-ти кратной повторности, для уменьшения контаминации.



Рис. 72. Боксорер



Рис. 73. Вырезка донных осадков



Рис. 74. Выемка проб осадков из боксорера.



Рис. 75. Проба донных осадков. Присутствие иглокожих (офиур) на поверхности осадков свидетельствует о наличии морского фаунистического комплекса



Рис. 76. Промывка боксорерной пробы грунтов для выбора донных животных



Рис. 77 Посев мягких тканей гидробионтов на твердую питательную среду



Рис. 78. Выемка мейобентосных проб из боксорера



Рис. 79. Разбор и анализ проб фитопланктона в судовой лаборатории.

Были использованы 4 протокола консервации биообразцов: прямая заморозка на $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, заморозка на $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ с применением в качестве криопротектора глицерина 30%, заморозка на $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ с применением в качестве криопротектора DMSO, и консервация в этаноле 96%. с последующим хранением при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для проверки эффективности применяемых протоколов консервации образцов микроорганизмов проводились посевы образцов на твердые питательные среды различного состава, для установление физиологической активности собранного

материала (рис. 77). Посевы проводились в стерильных условиях, стерильными инструментами. Для стимуляции роста бактерий в среду были добавлены казуминовые кислоты (1%). В среды, предназначенные для изучения мицелиальных грибов, был добавлен раствор теллурита калия (5 мл на 1 л среды). Микроорганизмы осаждались в стерильных условиях на фильтры 1 микрон с помощью вакуумного насоса, затем они заворачивались в фольгу, маркировались и замораживались. Фильтры с осажденными микроорганизмами хранятся при -20°C . Для грунтов проводили серию разведений до 10^{-3} . Подсчет колониеобразующих единиц (КОЕ) рассчитывали на 1 мл грунта.

Отобраны пробы донных грунтов на 16-ти станциях. (табл. 14). В зависимости от погоды, на каждой станции отбиралось разное количество боксов (1–3). 16 проб были промыты без разделения на слои, 20 проб были разделены на верхний (10 см) и нижний слои. Для изотопного анализа было высушено более 400 образцов (животные, полихетные трубки, поверхностный слой осадков). Предварительно определены двустворчатые моллюски, ракообразные, офиуры, сипункулиды и др. Оставшийся материал (животные для определения видового состава, оставшиеся животные, не заложенные на сушку для изотопного анализа, поверхностный грунт, остатки промытой пробы и т.д.) был зафиксирован и упакован для дальнейшего разбора в лаборатории на берегу. Извлечено и зафиксировано 56 проб мейобентоса из верхнего слоя донных осадков, предположительно населенных нематодами и представителями подотряда Nematocystica. Для исследования фитопланктона было отработано 20 станций, собрано 62 пробы морской воды объемом 1 л с трех горизонтов (с двух глубоководных станций добавлен дополнительный горизонт). Выделено 15 клонов культур микроводорослей рода *Thalassiosira*. Отобрано и зафиксировано раствором Утермея 38 проб морской воды объемом 1 л с горизонтов 0–18 м для качественного и количественного анализа. Подготовлено: 48 криопробирок объемом 1.8 мл с микроводорослями для дальнейшего криоконсервирования при -160°C , 96 криопробирок объемом 500 мкл с микроводорослями для хранения при -85°C и дальнейшего выделения ДНК.

С целью проведения микологических и микробиологических исследований донных сообществ моря Лаптевых использованы 32 пробы морских грунтов с 16

станций. Произведено 73 первичных посева, выделено 24 вида мицелиальных грибов и 6 видов бактерий и дрожжеподобных организмов.

В рамках подготовки к депонированию образцов в ЦКП «Морской биобанк» проводилась отработка методик отбора проб биологического материала и грунтов, их первичной консервации и контроля качества.



Рис. 80. Лаборатория: слева - вид снаружи, справа - стерилизация ультрафиолетовыми лампами

Сбор гидробионтов и морских грунтов выполняли боксорером (рис. 72). Отбор проб грунтов проводили стерильными инструментами, сразу после поднятия боксоререа. После отбора пробы подвергались камеральной обработке и консервации. Пробы гидробионтов перед посевом и консервацией промывали стерильной морской водой и вымачивали по 5 минут в 5-ти кратной повторности, для уменьшения контаминации. Были использованы 4 протокола консервации биообразцов: прямая заморозка на -20°C , заморозка на -20°C с применением в качестве криопротектора глицерина 30%, заморозка на -20°C с применением в

качестве криопротектора DMSO, и консервация в этаноле 96%. с последующим хранением при температуре -20°C. Для проверки эффективности применяемых протоколов консервации образцов микроорганизмов проводились посеvy образцов на твердые питательные среды различного состава, для установление физиологической активности собранного материала (рис. 77).

Просевы проводились в стерильных условиях, стерильными инструментами. Для стимуляции роста бактерий в среду были добавлены казуминовые кислоты (1%). В среды, предназначенные для изучения мицелиальных грибов, был добавлен раствор теллурита калия (5мл на 1л среды). Лабораторное помещение перед работой стерилизовали ультрафиолетовыми лампами в течении 2-х часов (рис. 80).

Использованные операционные процедуры

Морские грунты. После поднятия бокс-корера пробы отбирали как можно быстрее стерильными инструментами. Затем, в лаборатории пробу разделали для консервации и посевов на физиологическую активность. Пробы, предназначенные для консервации помещали в криопробирки объемом 0,5 и 2 мл. Заморозку проб проводили с использованием криопротекторов и без них. Для консервации использовали 2 криопротектора: глицерин 30% и DMSO 20%. После добавления криопротектора пробирки помещали на шейкер и перемешивали 10 мин. на средней мощности. В конце переносили криопробирки в морозильную камеру на -30°C. Заморозку производили со скоростью -1 градус в минуту.

Гидробионты и их микробиом. После поднятия бокс-корера пробу промывали через набор сит разного диаметра. Всех гидробионтов отбирали в пластиковые контейнеры. Затем, в лаборатории гидробионтов вымачивали в стерильной морской воде в 5-ти кратной повторности, для удаления возможной кантаминации. Крупных гидробионтов препарировали: отделяли полостную жидкость, тело делили на мелкие фрагменты. Для консервации полученные образцы помещали в криопробирки объемом 0,5 и 2 мл. Заморозку проб проводили с использованием криопротекторов и без них. Для консервации использовали 2 криопротектора: глицерин 30% и DMSO 20%. После добавления криопротектора пробирки помещали на шейкер и перемешивали 10 мин. на средней мощности. Для

дальнейшего выделения ДНК вместо криопротектора пробу заливали этанолом 96% в пропорции 1:10. По прошествии суток этанол сливали и заменяли свежим. В конце переносили криопробирки в морозильную камеру на -30°C. Заморозку производили со скоростью -1 градус в минуту.

Микроводоросли. С помощью батометра отбирали пробу морской воды и переливали ее в пластиковую бутылку объемом 1 литр. Затем, в лаборатории профильтровывали воду через фильтр 1 микрон с помощью вакуумной установки. После, шприцом, в чашке Петри делали смыв клеток с фильтра. Сконцентрированную пробу из чашки Петри разливали по криопробиркам. Затем в криопробирки добавляли криопротектор ДМСО в концентрации 10% от объема. После ставили плашку с криопробирками на шейкер и перемешивали 10 мин. на средней мощности. В конце переносили криопробирки в морозильную камеру на -30, для сохранения материала для дальнейшего выделения ДНК устанавливаем скорость заморозки на -1 градус в минуту.

В ходе работы были разработаны Стандартные операционные процедуры по пробоподготовке биологических образцов в полевых условиях для депонирования в ЦКП "Морской биобанк".

Из образцов грунтов микроорганизмы выделяли методом разведения. Поскольку их плотность в грунтах на несколько порядков ниже, чем в наземных почвах, обычно не требовалось разведения более чем в 10^{-3} . Для разведения готовили колбы объемом 250 мл, в них вносили 100 мл стерильной морской воды. Морскую воду для разведения стерилизовали автоклавированием при 1,1 ат. 20 мин. Затем, в колбы вносили 1 г пробы грунта и хорошо размешивали встряхиванием. Суспензию последовательно разводили до 10^{-3} , отбирая по одному миллилитру тщательно перемешанной суспензии и стерильно перенося ее в пробирку с 9 мл стерильной морской воды. Высевали по 5 шт. чашек из каждого разведения. Использовали среды: Сабуро (рН 7,8 – 8,2) (Артемчук, 1981), «агаризированный отвар грунта» (рН 7,8 – 8,2), который готовили по методике, принятой для почвенных отваров (Литвинов, Дудка 1975) и морской агар. Все среды готовили на натуральной морской воде.

Среды стерилизовали автоклавированием 30 мин при 1,1 ат. для высевания грибов перед разливом среды в чашки Петри добавляли 2% раствор теллурида калия (5мл/л), для подавления бактериальной флоры. Посев проводили, внося в каждую чашку по 1мл суспензии и тщательно растирая по поверхности агара шпателем Дригальского. Выросшие колонии микроорганизмов пересевали на свежие питательные среды аналогичного состава, для получения чистых штаммов. Среднее число пропагул микроорганизмов в одном грамме грунта рассчитывали по формуле:

$$N_{cp} = N_1 + N_2 + \dots + N_x / x$$

$$N = n * 10^q,$$

где N – число пропагул грибов в одном грамме грунта в каждом разведении, n – число колоний грибов в чашках, q – номер разведения, x – количество повторностей

Подготовленные образцы снабжаются обширным информационным паспортом, размещенным на сайте «Морского биобанка» (<http://marbank.dvo.ru>) и являются перспективным материалом для дальнейших исследований, а также качественным референсным материалом.

Объемы выполненных работ

Виды выполненных исследований и их объемы представлены в табл. 14.

Таблица 14. Виды и объемы работ

Виды работ	Число проб и т.п. (препаратов, посевов, и.т.п.)
Отбор проб донных грунтов бокс-корером	16 станций, 56 проб
Промывка проб донных грунтов для извлечения животных	56 проб
Подготовка проб животных для изотопного анализа	Более 400
Фиксация проб животных для последующего определения	520
Фиксация оставшихся частей проб после ручной выборки	56
Сбор и фиксация проб мейобентоса	56
Сбор проб морской воды для определения состава фитопланктона	20 станций, 62 пр.
Выделение культуры микроводорослей <i>Thalassiosira</i>	15 клонов
Подготовка проб микроводорослей для криоконсервирования	48 шт. / 1.8 мл

Консервация проб микроводорослей для выделения ДНК	96 шт / 500 мкл
Сбор грунтов для проведения микологических и микробиологических исследований	16 станций, 32 пробы.
Посевы грибов, бактерий и дрожжеподобных организмов (выделено 24 вида мицелиальных грибов и 6 видов бактерий)	73 первичных посева
Сбор проб воды на метагеномный анализ микроорганизмов (бактерии, грибы, простейшие, микроводоросли)	16 станций, 49 проб
Фильтрация проб воды для осаждения микроорганизмов	49 фильтраций,
Подготовка биоматериала и образцов грунта к депонированию в «Морской биобанк»	133 образца биологического материала, 63 образца грунта

Результаты

Характеристики макробентоса

В пробах макробентоса, собранных вдоль субмеридионального разреза «устье р. Лена–склон шельфа» обнаружены представители следующих крупнейших таксонов морских беспозвоночных:

Тип Cnidaria Verrill, 1865

Класс Anthozoa Ehrenberg, 1834

Отряд Alcyonacea Lamouroux, 1812

Тип Nemertea Schultze, 1851

Тип Sipuncula Rafinesque, 1814

Тип Annelida (Кольчатые черви) Lamarck, 1809

Класс Oligochaeta Grube, 1850

Класс Polychaeta Grube, 1850

Подкласс Echiura Newby, 1940*

Подкласс Oligochaeta Grube, 1850

Подкласс Errantia Audouin & H Milne Edwards, 1832

Подкласс Sedentaria Lamarck, 1818

Семейство Siboglinidae Caullery, 1914 (Pogonophora)

Тип Arthropoda von Siebold, 1848

Подтип Crustacea

Отряд Amphipoda Latreille, 1816

Отряд Cumacea Krøyer, 1846

Отряд Isopoda Latreille, 1817

Отряд Pantopoda Gerstaecker, 1863*

Тип Mollusca Linnaeus, 1758

Класс Bivalvia Linnaeus, 1758

Класс Gastropoda Cuvier, 1797*

Тип Echinodermata Bruguière, 1791

Класс Asteroidea de Blainville, 1830*

Класс Echinoidea Leske, 1778*

Класс Ophiuroidea Gray, 1840

Представители указанных таксонов составили основу фаунистических комплексов, обнаруженных на шельфе моря Лаптевых в ходе данной экспедиции («*» – немногочисленные экземпляры, не включенные в количественный анализ).



Рис. 81. Двустворчатые моллюски – доминирующая форма в эвригалинном фаунистическом комплексе. Ст. АМК-6005. В пробе также пустая деформированная раковина брюхоногого моллюска *Natica* sp.



Рис. 82. Иголокожие (офиуры) из проб, полученных на ст. АМК-6027

В районе исследований (вдоль условного разреза «устье р. Лена – склон шельфа») можно выделить три фаунистических комплекса, последовательно сменяющих друг друга в субмеридиональном направлении.

Первый комплекс наблюдался на ст. АМК-6005-6013 вдоль условного разреза. Здесь, в условиях грунтов с преобладанием тонкодисперсной илистой фракции, отмечен комплекс эвригалинных видов, устойчивых к значительным колебаниям солености и способных обитать в распресненной воде приустьевых прибрежных акваторий. Здесь преобладают (по численности) двустворчатые моллюски *Yoldiella* (с биомассой 16 г/м²) и седентарные полихеты в трубках. Среди двустворок *Yoldiella* преобладала размерная категория раковин 2–8 мм в длину, что говорит об активном размножении моллюсков этой группы в данном районе (рис. 81, 82). В пробах с данного участка обнаружено большое количество пустых трубок седентарных полихет – наибольшее (480 г/м²) на ст. АМК-6005, на ст. АМК-6006, 6007 – по 380 и 386 г/м² соответственно.

Таблица 15. Распределение и вариации (SD) численности массовых представителей макробентоса на донных станциях

№ станции	Название таксона	Средн. числ.. м ²	SD	Соленость в придонном слое. ‰
АМК-6005	Sipunculida	4	-	23.4
	Polychaeta	44	-	
	Bivalvia	60	-	
6006	Polychaeta	150	±161.22	26
	Isopoda	10	±8.49	
	Bivalvia	62.67	±4.62	
6007	Polychaeta	40	±5.66	27.5
	Pogonophora	408	-	
	Cumacea	6	±2.83	
	Isopoda	4	-	
	Bivalvia	60	±28.28	
6008	Oligochaeta	20	-	25.6
	Polychaeta	48	-	
	Bivalvia	8	±5.66	
6009	Oligochaeta	6	±2.83	25.6
	Polychaeta	4	-	
	Amphipoda	66	±8.49	
	Isopoda	46	±2.83	
	Bivalvia	12	-	
6013	Oligochaeta	13.33	±10.07	26.8
	Polychaeta	36	-	

	Amphipoda	4	-	
	Cumacea	4	-	
	Isopoda	4	-	
	Bivalvia	4	-	
	Ophiuroidea	37.33	±6.11	
6014	Polychaeta	60	-	16.5
	Bivalvia	20	-	
	Gastropoda	4	-	
6015	Polychaeta	104	-	32.2
	Amphipoda	12	-	
	Bivalvia	76	-	
6016	Polychaeta	12	-	33.4
	Isopoda	16	±11.31	
	Bivalvia	40	-	
	Ophiuroidea	46	±48.08	
6027	Sipunculida	32	-	34.02
	Polychaeta	164	±67.88	
	Pogonophora	514	±42.43	
	Amphipoda	24	-	
	Bivalvia	8	±5.66	
	Ophiuroidea	38	±2.83	
6045	Sipunculida	4	-	34
	Polychaeta	72	±33.94	
	Pogonophora	476	±130.11	
	Amphipoda	22	±14.14	
	Isopoda	8	-	
	Bivalvia	234	±31.11	
	Asteroidea	16	-	
6053	Polychaeta	93.33	±38.85	34.2
	Pogonophora	108	-	
	Amphipoda	16	-	
	Cumacea	4	-	
	Isopoda	4	-	
	Bivalvia	72	±36.66	
	Asteroidea	6	±2.83	
	Ophiuroidea	41.33	±22.74	
6056	Sipunculida	4	-	34.1
	Polychaeta	92	±5.66	
	Pogonophora	526	±19.80	
	Amphipoda	14	±2.83	
	Cumacea	4	-	
	Bivalvia	18	±19.80	
	Ophiuroidea	18	±2.83	
6058	Sipunculida	4	-	34
	Polychaeta	186.67	±2.83	

	Amphipoda	24	±11.31	
	Bivalvia	14	±2.83	
	Ophiuroidea	14	±2.83	
6065	Sipunculida	10	±2.83	34.5
	Polychaeta	6.67	±2.83	
	Gastropoda	4	-	
	Ophiuroidea	20	-	
6068	Sipunculida	4	-	34.5
	Polychaeta	18	±2.83	
	Echiurida	4	-	
	Amphipoda	8	-	
	Bivalvia	4	-	
	Ophiuroidea	32	±5.66	

Примечание. SD – стандартное отклонение.

Высокая смертность полихет в прибрежной зоне, скорее всего, связана с критическим понижением солености в период весеннего половодья. А накопление пустых трубок в нижнем слое грунта (глубже 4 см), вероятно, связано с активным выносом осадочного материала рекой в этот период. Это может привести скорее к захоронению пустых трубок, чем к их выносу. Наибольшие вариации отмечены у кольчатых червей *Polychaeta* (станция 6006; SD ±161,22) и двустворчатых моллюсков *Bivalvia* (ст. АМК-6007; SD ±28,28, табл. 15). Это скорее всего связано с гетерогенным распределением в мелководной прибрежной области, где механическое воздействие на субстрат (волновое, образование и таяние прибрежных льдов и т.п.) может локально элиминировать зарывающихся двустворок и седентарных полихет.

Второй комплекс был отмечен на станциях АМК-6013, 6014. Здесь пробы донного грунта были песчаными, без видимой примеси ила. На этом участке дна, в связи с изменившимся гранулометрическим составом грунта, сменился характер сообщества. Макробентосные организмы были немногочисленны, но двустворчатые моллюски здесь были другого рода – *Mascoa* sp. Станция АМК-6014 обеднена в связи с пониженной соленостью на данном участке.

Третий комплекс видов прослеживался начиная со станции 6015. Здесь, с возрастанием солености в пробах появились иглокожие – офиуры, предварительно определенные как представители родов *Ophiocten*, *Stegophiura* и *Ophiacantha* (рис.

82). Двустворки *Yoldiella* продолжали встречаться во всех донных пробах, но преобладала размерная группа с раковиной более 10 мм в длину. К ним прибавились в качестве массовых форм *Nuculana pernula* и *Macoma calcarea*. На последних станциях появились и двустворки-гребешки *Simlipecten greenlandicus*.

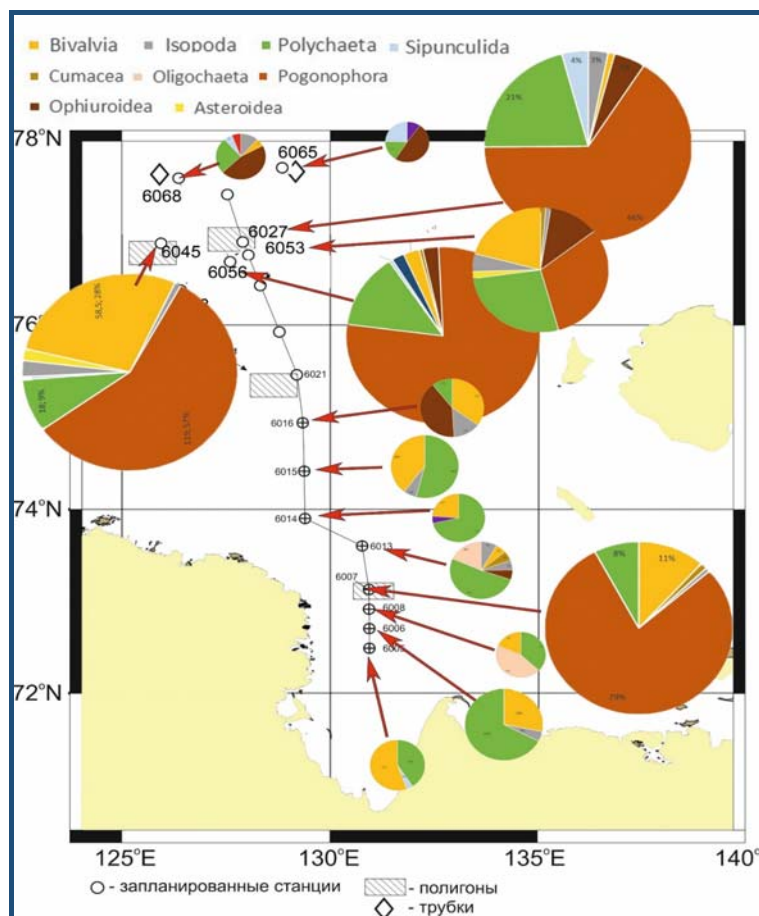


Рис. 83. Вариации суммарной численности (экз/м²) и соотношения численности массовых групп макро-бентосных животных на станциях вдоль субмеридионального разреза «устье р. Лена – склон шельфа», осенний период 2018 г.

Таким образом, можно утверждать, что по направлению от устья реки Лены к склону шельфа разнообразие полихет и иглокожих, являвшихся массовых представителей макробентоса, постепенно возрастали вдоль градиента увеличения солености и глубины (табл. 15; рис. 83).

В целом, полученные результаты соответствуют известным закономерностям о качественном и количественном распределении макробентоса арктического

шельфа и хорошо соотносится с ранее опубликованными данными для изучаемой акватории (Golikov, 1994, 1994a, 1994 b; Sirenko, 2001).

Мегасиповые полигоны

Скачкообразный рост численности макробентосных организмов отмечен на мегасиповых полигонах (рис.84).

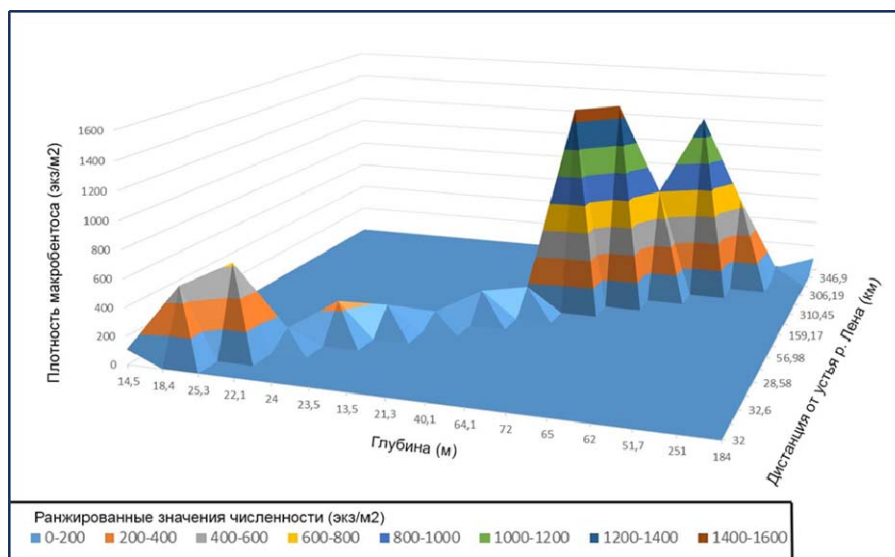


Рис. 84. Изменение плотности поселений макробентосных организмов вдоль субмеридионального разреза «устье р. Лена – склон шельфа»

Здесь в пробах, взятых непосредственно возле метановых выходов, численность макробентоса превышала 500 экз/м². Даже усредненные по станциям результаты подсчета численности организмов демонстрируют резкий подъем обилия бентоса в пробах возле метановых сипов. В качестве доминирующей формы на этих станциях выступают погонофоры (рис. 85, 86). Эти червеобразные животные, существующие в облигатном симбиозе с хемосинтезирующими бактериями, были получены на станциях АМК-6007, 6027, 6045 и 6056. Здесь, в пробах донных грунтов, трубки погонофор были представлены в виде сплошной густой массы весом от 2 г/м² до 280 г/м².

В пробах на ст. АМК-6053 погонофоры присутствовали, но их количество было не столь велико. Масса трубок здесь не превышала 2 г/м². Численность

погонофор составляла сотни особей на м² и была высокой (более 500 экз/м², табл. 13) на ст. АМК-6027, 6045 и 6056, где пробы были взяты на мегасиповых полигонах (рис. 85, 86).



Рис. 85. Трубки погонофор, ст. АМК-6027, поверхностный слой грунта (горизонт 0–5 см).

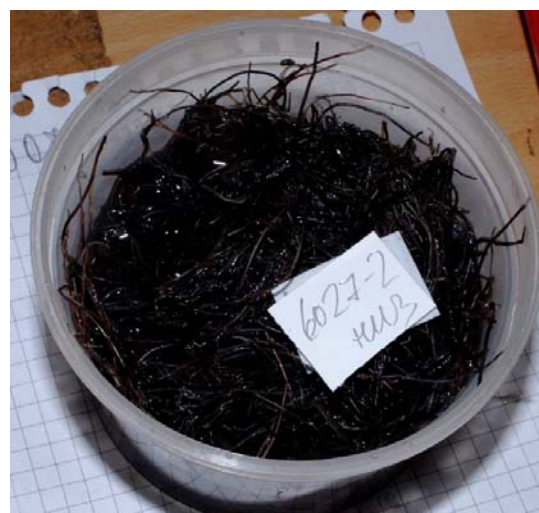


Рис. 86. Трубки погонофор, ст. АМК-6027, слой грунта глубже 5 см.

В связи с полученными данными, следует рассматривать сообщества, населяющие участки дна вблизи метановых сипов, как особые случаи формирования донных биоценозов под влиянием метановой разгрузки.

Перспективной представляется оценка возможности использования значений биомассы погонофор и их видового состава в качестве индикатора степени влияния метана на донные сообщества в районе исследований. Для этого требуется сопоставление полученных результатов с биогеохимическими характеристиками полигонов.

Для контроля и прогноза глобальных изменений в северных морских биологических системах необходимо понимание структуры и функционирования основных звеньев экосистемы. Трудность прогноза изменений в биологических системах заключается в их недостаточной изученности в пространственном и временном масштабе, в виду суровых климатических условий. Одним из наиболее успешных подходов к изучению структуры и функционирования донных сообществ в арктических морях оказался анализ изотопного состава углерода и

азота гидробионтов, который позволяет определить, как источники органического вещества, так и трофическую структуру сообщества. Данный анализ может быть использован также для оценки межвидовых и внутривидовых различий трофического статуса и пищевого поведения животных в арктических морях (Одинцов, Кияшко, 2018).

Эстуарная зона реки Лены представляет собой стрессовую среду с особыми условиями, имеющими большую биологическую значимость. Как известно, любой эстуарий представляется избытком органического вещества, высоким уровнем осадконакопления, высокой изменчивостью в солёности. В таких суровых условиях популяции находятся в строгих рамках лимитирующих факторов, и, считается, что конкуренция не имеет большого значения. Поэтому мы предположили, что беспозвоночные схожих типов питания могут использовать одни и те же ресурсы. Однако, Taupp et al. (2017) определили изотопические ниши донных беспозвоночных на основе стабильного изотопного анализа для исследования трофических цепей в MTZ Elbe Estuary (Германия). Выяснилось, что в стрессовых условиях эстуарных зон даже при наличии обильного поступления органического вещества, трофические позиции беспозвоночных не перекрываются, что, вероятно, свидетельствует о наличии конкуренции в прошлом, которая со временем привела к расхождению трофических ниш животных в процессе эволюции.

Речной сток и береговая эрозия вдоль арктического побережья России являются важным источником терригенного ОВ (углерода) для шельфовой зоны Северного Ледовитого океана. Основным источником биогенов в морях Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском – речной сток крупных сибирских рек. Относительно большое количество органики и биогенов ежегодно поступающее в Северный Ледовитый океан слабо используется в биологических пищевых цепях и быстро захоранивается на шельфе и в глубоководных бассейнах. Однако, влияние терригенного органического вещества на арктические биологические системы невозможно переоценить. Сильная замутненность шельфовых вод в сибирских морях приводит к существенному уменьшению первичной продукции в них. Большая доля относительной биомассы эпифауны, занимающая более высокие трофические уровни, указывает на то, что терригенное органическое вещество, как

основной источник пищи, может обеспечить существенную энергетическую поддержку для более высоких трофических уровней в море (Bell et al. 2016).

Минеральные образования. Твердые минеральные образования, предположительно карбонаты, были обнаружены в толще осадков на станциях в районах мегасиповых полигонов. Состав и внутренняя структура детально изучаются в лабораторных условиях.

Мейобентос

По материалам проб, собранных на 15 станциях вдоль субмеридионального разреза (табл. 16) установлено, что мейобентос в данном районе содержит представителей следующих основных таксонов:

Тип Foraminifera

Тип Platyhelminthes Minot, 1876

Turbellaria Ehrenberg, 1831

Тип Nematoda Rudolphi, 1808

Тип Nemertea Schultze, 1851

Тип Annelida (Кольчатые черви) Lamarck, 1809

Класс Oligochaeta Grube, 1850

Класс Polychaeta Grube, 1850

Подкласс Oligochaeta Grube, 1850

Подкласс Errantia Audouin & H Milne Edwards, 1832

Тип Arthropoda von Siebold, 1848

Подтип Crustacea

Класс Hexanauplia Oakley, Wolfe, Lindgren & Zaharof, 2013

Отряд Harpacticoida Sars M., 1903

Класс Arachnidae Cuvier, 1812

Класс Malacostraca Latreille, 1802

Отряд Tanaidacea Dana, 1849

Класс Ostracoda Latreille, 1802

Тип Cephalorhyncha

Класс Kinorhyncha
 Тип Rotifera Cuvier, 1817
 Тип Mollusca Linnaeus, 1758
 Класс Bivalvia Linnaeus, 1758
 Класс Aplousophora

Таблица 16. Реестр проб мейобентоса, собранных в ходе экспедиции

Дата отбора	Номер станции	Номер пробы	Кол-во проб	Глубина (м)	Соленость у дна (‰)
03.10.2018	АМК-6006	пр.1–пр.5	5	18.4	26
04.10.2018	6007	пр.1–пр.3 + ГЕН*2	5	25.3	27.5
05.10.2018	6009	пр.1–пр.3	3	24	25.6
05.10.2018	6013	пр.1–пр.3	3	23.5	26.8
05.10.2018	6014	пр.1–пр.5	5	13.5	16.5
05.10.2018	6015	пр.1–пр.3	3	21.3	32.2
06.10.2018	6016	пр.1–пр.3	3	40.1	33.4
08.10.2018	6027	пр.1–пр.3 + ГЕН*2	5	64.3	34.02
09.10.2018	6045	пр.1–пр.3 + ГЕН*2	5	72	34
12.10.2018	6053	пр.1–пр.3+ГЕН*2	5	65	34.2
12.10.2018	6056	пр.1–пр.3	3	62	34.1
13.10.2018	6058	пр.1–пр.3	3	51.7	34
14.10.2018	6065	пр.1–пр.3+ГЕН*2	5	251	34.5
15.10.2018	6068	пр.1–пр.3	3	184	34.5
Всего проб			56		

Примечание. ГЕН* – сбор материалов для генетического анализа

Доминирующими группами являются круглые черви Nematoda и мелкие ракообразные Harpacticoida. В районе вблизи устья р. Лена и на шельфе преобладают селективные и неизбирательные детритофаги.

Обилие и таксономическое разнообразие мейобентоса увеличивается от опресненной прибрежной области в сторону склона шельфа. Полученные результаты хорошо согласуются с уже известными данными для Карского моря, где исследователями были выделены в Енисейском заливе три таксоцена: пресноводный, солоноватоводный и морской. Здесь таксоцен эстуарной зоны не отличался специфическим набором видов и состоит из видов, характерных для сообщества нематод как опресненной, так и морской зон (Портнова и др. 2107).

Не всегда возможно обнаружить взаимосвязи количественных характеристик сообществ мейобентоса с изменением глубины и типа грунта. Но способность арктического мейобентоса отчетливо реагировать на флюктуации экологических характеристик означает важность его исследования как индикатора любых экстремальных условий жизни в море локального или глобального характера. Так, по материалам, собранным на одном из бывших ядерных полигонов у архипелага Новая Земля в районе губы Черная (Баренцево море), а также в местах захоронения радиоактивных отходов вдоль восточного побережья архипелага Новая Земля установлено, что с увеличением концентрации цезия-137 возрастало таксономическое разнообразие сообществ мейобентоса и уменьшалась плотность поселений мелких донных животных. Высказано предположение, что на ухудшение радиоактивной обстановки мейобентосные сообщества способны быстро реагировать изменением таксономического состава и количественных показателей (Гальцова и др. 2004; Ahnert, & Schriever 2001). Подотряд Harpacticoida, один из 9 подотрядов, входящих в отряд Copepoda. Гарпактициды являются второй по численности, а в редких случаях и доминирующей группой организмов, входящих в состав сообщества мейобентоса. Поэтому, исследование гарпактицид является важным шагом на пути к пониманию общей таксономической структуры мейофауны. Сообщество гарпактикоидных копепод моря Лаптевых исследовано очень слабо. При детальной обработке собранного материала предполагается обнаружение новых для науки видов.

Пластиковые отходы в донных осадках

Во всех собранных пробах были обнаружены фрагменты бытового пластика, предположительно бутылок и пластиковых коробок. Крупные фрагменты, 8–15 мм в поперечнике присутствовали в слое грунта глубже 5 см (рис. 87). Наличие и подсчет более мелких фрагменты, которые было трудно извлечь путем ручной выборки, проводятся при дальнейшей обработке проб в лабораторных условиях.



Рис. 87. Фрагменты пластика из пробы донных осадков, ст. АМК-6006, устье р. Лена

Фитопланктон

Для осеннего периода характерно резкое снижение освещенности и начало образования ледового покрова. Качественный состав сообщества в этот период весьма пестрый: в северных районах в поверхностном горизонте доминируют диатомовые, в подповерхностных слоях – динофлагелляты (включая гетеротрофные и миксотрофные формы), зеленые водоросли – в области влияния речного стока. В зоне влияния пресного стока устанавливается стратификация, толщина поверхностного распресненного слоя достигает 15–20 м.

В ходе экспедиции в пробах, полученных на станциях вдоль разреза «устье р. Лена – склон шельфа» (рис. 88), выявлено 4 группы микроводорослей: диатомовые, динофитовые, золотистые, зеленые, среди которых по количеству родов доминировали диатомовые.

При просмотре проб воды на световом микроскопе, на первых пяти станциях АМК-6005–6009 были идентифицированы солоноватоводные, зеленые микроводоросли рода *Nannochloris*. Среди диатомовых доминировал род *Dinophysis*. На ст. АМК-6013 и АМК-6014 выявлен вид, характерный для морей северного полушария – *Distephanus speculum*, представитель отряда золотистые (CHRYSTOPHYTA). Начиная со ст. АМК-6015, с повышением показателей солености, наблюдается доминирование диатомовых водорослей рода *Chaetoceros*

(рис. 89). Повсеместно встречаются такие виды как *Chaetoceros atlanticus*, *Ch. affinis*, *Ch. decipiens*, *Ch. compressus*. Среди диатомовых также присутствуют представители родов *Thalassionema* (преимущественно вид *Th. frauenfeldii*), *Thalassiosira* (в основном *Th. gravida*), *Skeletonema*. В составе отряда динофитовых преобладают род *Dinophysis* и род *Protoberidinium*.

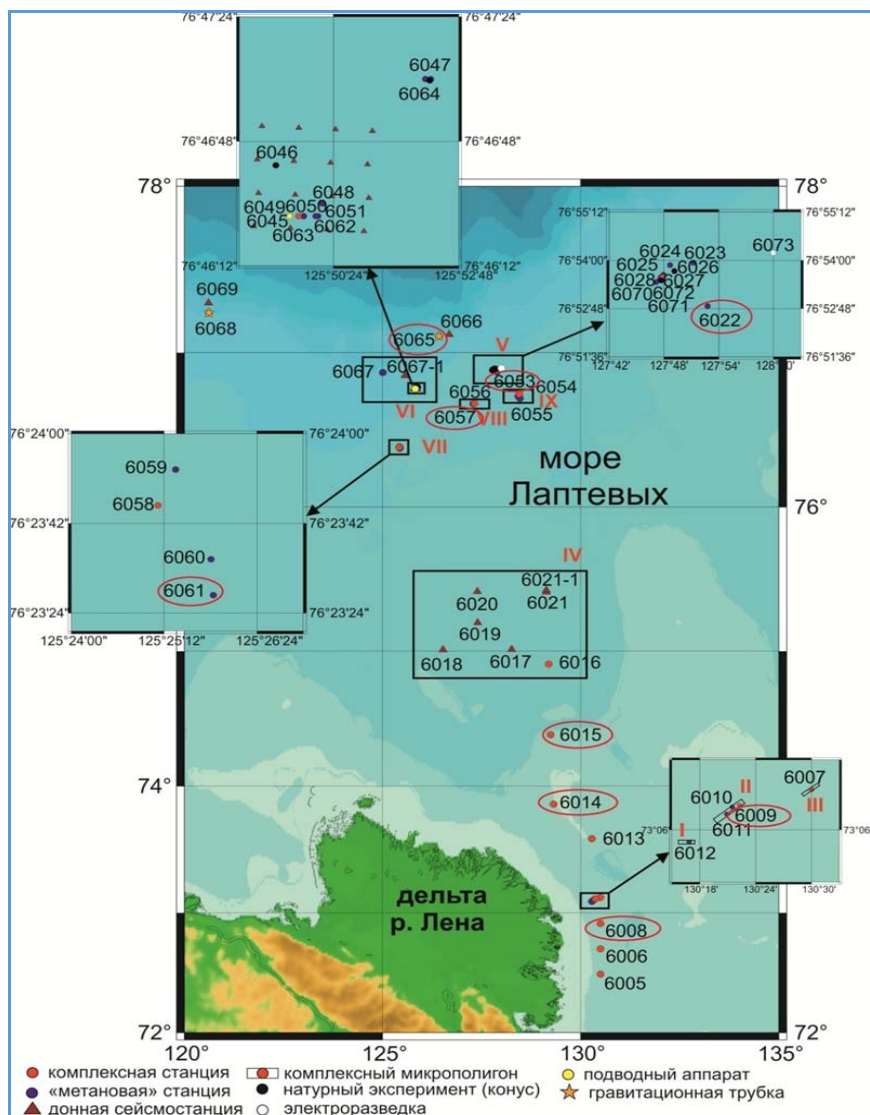


Рис. 88. Районы гидробиологических исследований (красным обведены станции, по которым получены данные)

На ст. АМК-6061, 6062 и 6067 среди диатомовых доминировали микроводоросли рода *Cylindrotheca*, на ст. АМК-6068 обнаружен ранее не встречавшийся вид диатомовых водорослей – *Nitzschia longissima*.

По числу видов преобладали диатомовые водоросли (Bacillariophyta) – 24 вида (68%), динофлагелляты (Dinophyta) – 8 (22%). Среди диатомовых наиболее богаты видами были роды *Chaetoceros* (6 видов) и *Thalassiosira* (4 вида), среди динофлагеллят – *Protoperidinium* (3 вида). Отдел золотистые водоросли (Chrysophyta) был представлен 2 видами (9% от общего числа видов), отдел зеленые (Chlorophyta) 1 видом (1%).

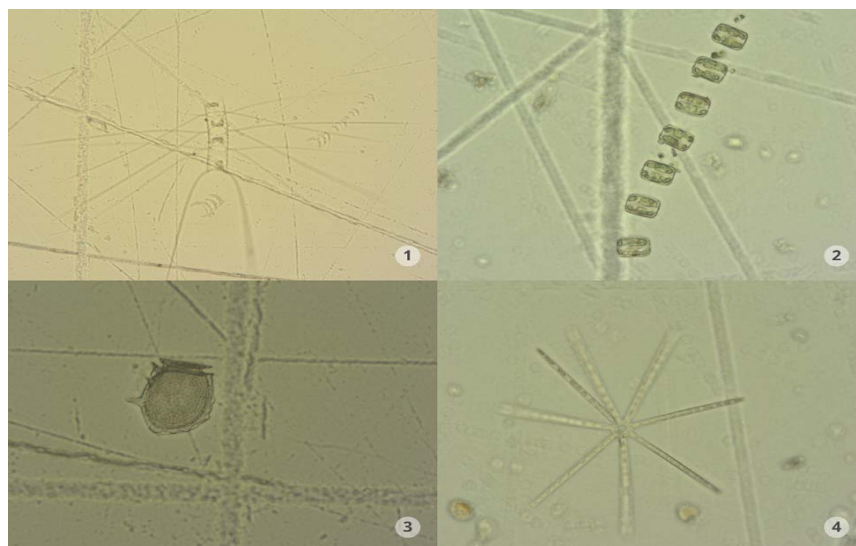


Рис. 89. Некоторые представители фитопланктона моря Лаптевых, обнаруженные в ходе рейса: 1 – *Chaetoceros decipiens*, 2 – *Thalassiosira nordenskiöldii*, 3 – *Dinophysis acuta*, 4 – *Thalassionema frauenfeldii*.

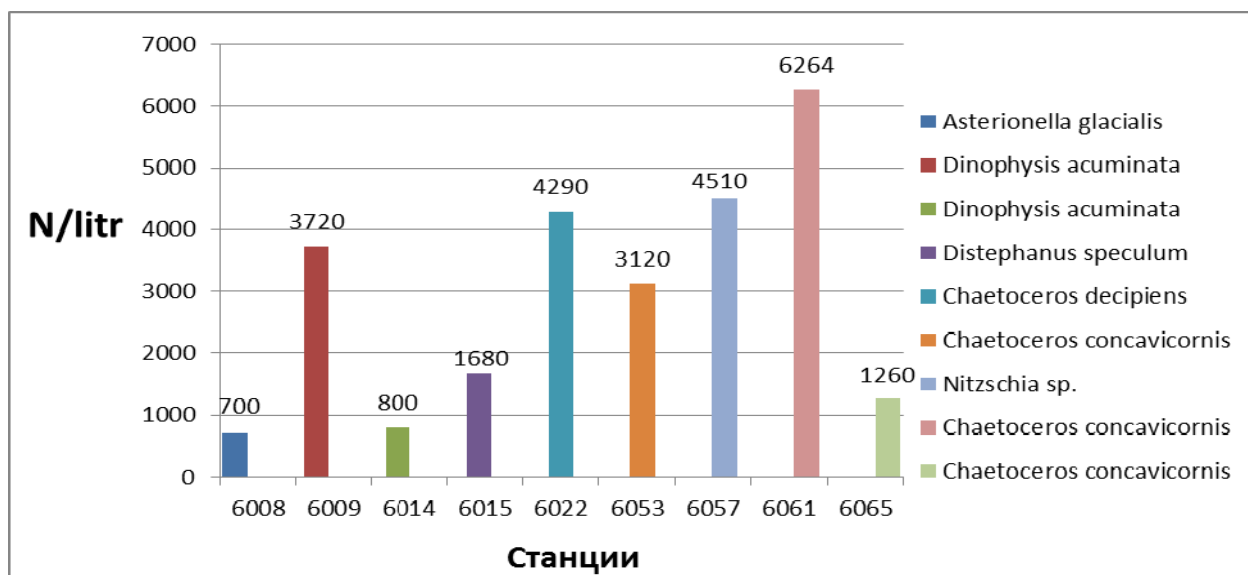


Рис. 90. График плотности доминирующих видов по станциям в море Лаптевых в октябре 2018 г.

В октябре 2018 г. наиболее высокая плотность наблюдалась у видов *Chaetoceros concavicornis* и *Dinophysis acuminata* (до 6.2 и 4.5 тыс. кл/л соответственно, рис. 89, 90). Вид *Dinophysis acuminata* интересен тем, что продуцирует токсины группы ОК (окадаевая кислота) в естественных условиях обитания и при высокой численности способен формировать "красные приливы". Встречается в холодных морях и лиманах.

Эколого-географический анализ найденных видов фитопланктона показал наличие микроводорослей как прибрежных, так и встречающихся в открытых водах морей с некоторым преобладанием прибрежных форм (табл. 17). В 2018 г. в море Лаптевых максимальная общая плотность фитопланктона была отмечена на ст. АМК-6022 (19,2 тыс кл/л), а минимальная на ст. АМК-6008 (1,9 тыс кл/л), средняя плотность по станциям составляла 9,2 тыс кл/л, по плотности доминировала группа диатомовых микроводорослей, они составляли 20–96% от общей плотности фитопланктона. Относительно многочисленными были динофитовые микроводоросли (1–61% от общей плотности фитопланктона). Меньшей плотностью были представлены золотистые (2–28% от общей плотности фитопланктона) и зеленые (1–27% от общей плотности фитопланктона, табл. 18).

Таблица 17. Эколого-географическая характеристика фитопланктона

Таксон	Экологическая характеристика	Географическая характеристика
<i>Amphidinium sp.</i>	-	-
<i>Asterionella glacialis</i>	Н	К
<i>Attheya longicornis</i>	Б	-
<i>Ceratium longipes</i>	-	-
<i>Chaetoceros atlanticus</i>	п	к
<i>Chaetoceros affinis</i>	н	ТБ
<i>Chaetoceros compressus</i>	Н	-
<i>Chaetoceros concavicornis</i>	-	-
<i>Chaetoceros decipiens</i>	П	К
<i>Chaetoceros gracilis</i>	-	-
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	П	АБ
<i>Cylindrotheca closterium</i>	Н	К
<i>Dictyocha fibula</i>	Н	-
<i>Dinophysis acuminata</i>	Н	К
<i>Distephanus speculum</i>	-	-
<i>Glenodinium penardii</i>	-	-

<i>Hemiaulus hauckii</i>	-	-
<i>Leptocylindrus danicus</i>	Н	Т
<i>Navicula sp. 40</i>	-	-
<i>Navicula transitans</i>	-	-
<i>Nitzschia longissima</i>	н	к
<i>Nitzschia frigida</i>	-	-
<i>Nitzschia sp.</i>	-	-
<i>Protoperidinium granii</i>	-	-
<i>Protoperidinium islandicum</i>	-	-
<i>Protoperidinium pallidum</i>	П	К
<i>Rhizosolenia setigera</i>	Н	К
<i>Skeletonema costatum</i>	Н	К
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	-	-
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	-	-
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	П	ТАБ
<i>Thalassiosira curviseriata (D=15mkm)</i>	-	-
<i>Thalassiosira gravida (D=60 mkm)</i>	П	БИП
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	Н	АБ
<i>Thalassiosira sp. (D=30 mkm)</i>	-	-

Примечания. Экологическая характеристика: п – панталасные виды, встречающиеся как в прибрежных, так и в открытых водах; н – неретические виды, обитающие в прибрежных районах в пределах континентальной ступени; Б – бентические. Географическая характеристика: ТБ – тропическо-бореальные виды; АБ – аркто-бореальный; ТАБ – тропическо-аркто-бореальные виды; Т – тропические; БИП – биполярные; К – космополиты

Таблица 18. Плотность фитопланктона в октябре 2018 г.

Дата сбора	№ станции	CHRYSO PHYTA	BACILLARIO PHYTA	DINO PHYTA	CHLORO PHYTA	Общая плотность кл/л
04.10.2018	6008		1300 (68%)	600 (32%)		1900
04.10.2018	6009	120 (2%)	2400 (37%)	3960 (61%)		6480
05.10.2018	6014	200 (6%)	600 (20%)	1400 (47%)	800 (27%)	3000
05.10.2018	6015	1680 (28%)	2940 (48%)	1470 (24%)		6090
07.10.2018	6022	1300 (8%)	16770 (87%)	780 (4%)	390 (1%)	19240
12.10.2018	6053	780 (6%)	12350 (90%)	650 (4%)		13780
12.10.2018	6057	330 (3%)	9900 (96%)	110 (1%)		10340
13.10.2018	6061	1740 (9%)	16182 (87%)	696 (4%)		18618
13.10.2018	6065	70 (2%)	3500 (94%)	140 (4%)		3710

Примечание. В скобках указано процентное соотношение видов от общей плотности фитопланктона

Микологические и микробиологические исследования мягких грунтов

Микроорганизмы (грибы, дрожжи, бактерии) являются перспективным источником различных метаболитов, обладающих биологической активностью. Согласно многим исследованиям биологическая активность морских микроорганизмов выше чем у представителей наземной или пресноводной микробиоты.

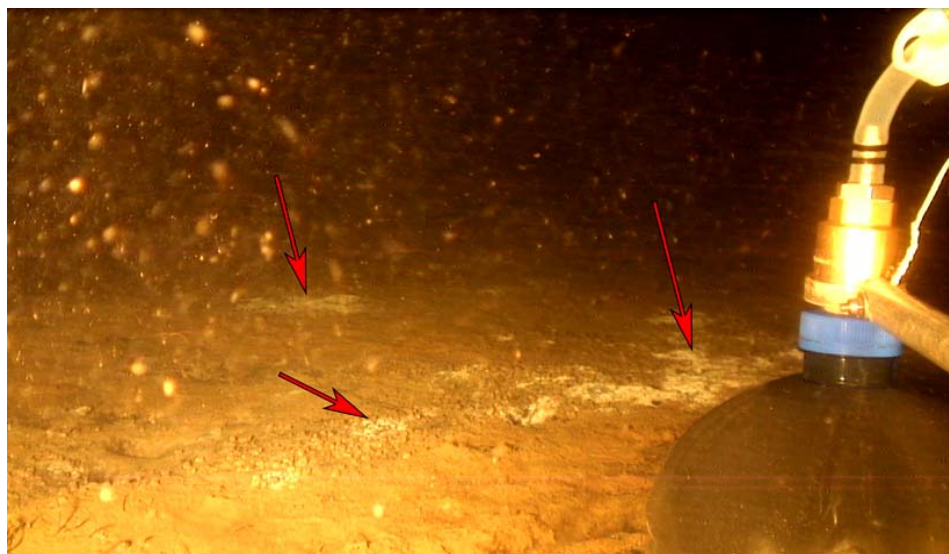


Рис. 91. Бактериальные маты на мегасиповом полигоне. Стрелками показаны скопления бактерий

Морские грунты являются главным основным субстратом развития морских микроорганизмов, поэтому изучение микробиомов грунтов в таких уникальных местах как шельфовые зоны северных морей, а также зоны метановых сипов поможет существенно расширить наше знание о мировом океане, поможет понять значение различных групп микроорганизмов в функционировании таких экосистем, а также обнаружить перспективные источники различных биологически активных веществ.

Для проведения микологических и микробиологических исследований донных сообществ моря Лаптевых собрано 32 пробы морских грунтов с 16 станций (рис. 92). Выделено 24 изолята мицелиальных грибов: *Aspergillus* (3 видов),

Cladosporium (1 вид), *Penicillium* (5 видов), *Mucor* (2 вида), *Trichoderma* (1 вид), 4 вида грибов для определения требуют изучения специальной литературы. 8 штаммов формировали мицелий без образования спороношений, но по морфологии колоний отличались друг от друга отмечены как *Mycelia Sterilia*. Всего произведено 73 посева на питательные среды (рис. 93).



Рис. 92. Предварительные посева на твердые питательные среды: А – смешанная культура, Б – штамм *Penicillium* sp.1, В – штамм бактерий

. Влияние реки Лена сильно сказывается на распределении микроорганизмов в морских грунтах. Так, в распресненных водах авандельты заметно преобладают роды *Aspergillus* и *Penicillium* (2 и 3 видов соответственно). В центральном районе аспергиллов и пенициллов отмечено по 2 вида. Представители рода *Mucor* были встречены только в районе дельты реки. С ослабеванием влияния реки начинают появляться *Mycelia Sterilia* (8 штаммов) и виды, которые пока не удалось идентифицировать. Вид *Penicillium brevicompactum* Dierckx был отмечен почти на всех станциях отбора проб грунтов.

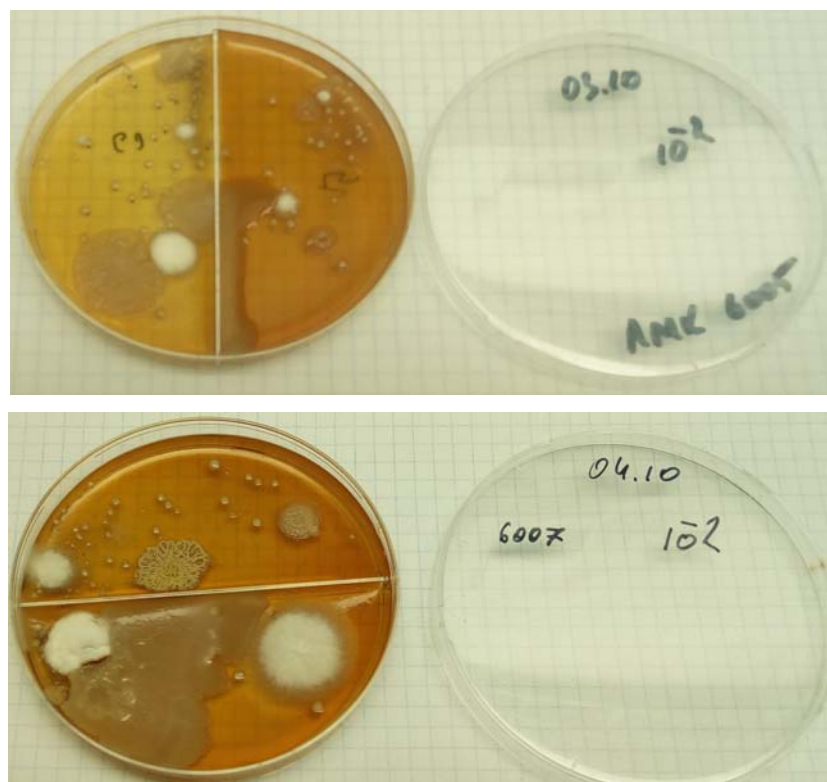


Рис. 93. Культуры микроорганизмов, выросшие на питательной среде Сабуро

Таблица 19. Количество колониобразующих единиц (КОЕ) в мягких грунтах моря Лаптевых

№	СТАНЦИЯ	ДАТА	КОЕ
1	AMK-6005	03.10.2018	8900
2	AMK-6006	03.10.2018	9700
3	AMK-6007	04.10.2018	9800
4	AMK-6008	04.10.2018	7900
5	AMK-6009	04.10.2018	8800
6	AMK-6013	05.10.2018	5300
7	AMK-6014	05.10.2018	3000
8	AMK-6015	05.10.2018	6000
9	AMK-6016	05.10.2018	5000
10	AMK-6027	08.10.2018	1200
11	AMK-6045	09.10.2018	1100
12	AMK-6053	12.10.2018	1500
13	AMK-6056	12.10.2018	2700
14	AMK-6058	13.10.2018	1000
15	AMK-6065	13.10.2018	3500
16	AMK-6068	15.10.2018	8100

Подобные результаты согласуются с ранее проведенными исследованиями арктических морей (Bubnova, 2010; Кирцидели и др., 2012; Bubnova, Nikitin, 2017). В этих работах культивируемая микобиота грунтов арктических морей показала характерную динамику: это низкая численность грибных пропагул, велика доля неспороносящих культур, а также видов из родов *Tolypocladium*, *Penicillium* и *Cladosporium* (Bubnova, 2010; Bubnova, Nikitin, 2017; Rämä et al., 2017). Доля стерильных изолятов здесь может составлять 30-40%, в нашей работе 8 штаммов это приблизительно 33% от общего количества изолятов.

Выросшие микроорганизмы и выделенные штаммы законсервированы для установления таксономического статуса и депонирования в ЦКП «Морской биобанк». Всего законсервировано 84 образца микроорганизмов.

Для грунтов проводили серию разведений до 10^{-3} . Подсчет колониобразующих единиц (КОЕ) рассчитывали на 1мл грунта (табл. 19).

Полученные данные показали значительное снижение численности микроорганизмов в песчаных грунтах и в районах выходов метановых сипов (станции АМК-6014, АМК-6027, АМК-6045, АМК-6053, АМК-6056 и АМК-6058). Подробное изучение отобранных проб и уточнение таксономического статуса выделенных мицелиальных грибов проводится в ННЦМБ ДВО РАН.

Микробиомы придонного и поверхностного слоев вод моря Лаптевых.

Отобраны 49 проб воды на метагеномный анализ микроорганизмов (бактерии, грибы, простейшие, микроводоросли), с 16 станций. Произведено 49 фильтраций через фильтры 1 микрон.

Микроорганизмы осаждались в стерильных условиях на фильтры 1 микрон с помощью вакуумного насоса, затем они заворачивались в фольгу, маркировались и замораживались. Фильтры с осажденными микроорганизмами хранятся при -20°C .

По завершении экспедиции образцы будут переданы для метагеномного анализа, на основании которого будет устанавливаться таксономический анализ микробиомов вод моря Лаптевых. Полученные данные будут сопоставлены с физиологической активностью образцов после их изъятия из биобанка.

Выводы

На шельфе моря Лаптевых можно выделить три фаунистических бентосных комплекса, последовательно сменяющих друг друга в субмеридиональном направлении:

- эвригалинный (наиболее явно на ст. АМК-6005–6013)
- песчаных грунтов (ст. АМК-6014–6015)
- морской – (ст. АМК-6016–6068).

То же и в отношении фитопланктона и морских грибов.

Сообщества у метановых сипов – морской комплекс, но имеют особый характер (погонофоры, ст. АМК-6027, 6045, 6053 и 6056, 280 г/м²).

Микробиота грунтов была богатой на фоновых станциях (5000–9700 КОЕ) и обедненной вблизи сипов (1000–1500 КОЕ). Вероятная причина последнего – отсутствие организмов (морских грибов), нетолерантных к метану.

Сообщества донных организмов у метановых сипов – морской комплекс, но имеют особый характер. Наиболее яркая черта – наличие метано-зависимых организмов макробентоса червей Pogonophora.

Перспективной представляется возможность использовать состав микробиоты грунтов для экспресс-анализа влияния метанового сипа на донную биоту, а величину биомассы погонофор (и видовой состав) использовать в качестве индикатора долговременного влияния метана на донные сообщества в районе исследований.

Полученные материалы – образцы макро- и мейобентоса, фитопланктона и штаммы микроорганизмов представляют собой цельную тематическую коллекцию и, вследствие этого, являются уникальной референсной частью материалов ЦКП "Морской Биобанк".

В результате выполненных экспедиционных работ собран материал и получены данные, свидетельствующие о существенном влиянии метановых сипов на сообщества макробентоса и микробиоты. Необходимо продолжение ежегодных мониторинговых исследований для прослеживания сукцессии экосистемы и прогнозирования ближайшего будущего биоты арктических морей в условиях интенсификации выделения метана.

Одним из наиболее успешных подходов к изучению структуры и функционирования донных сообществ в арктических морях является анализ изотопного состава углерода и азота гидробионтов, который позволяет определить, как источники органического вещества, так и трофическую структуру сообщества.

Перспективным является расширение исследований связи статуса биоты арктических вод и интенсивности метановыделения, прежде всего в Восточно-Сибирском море и в восточной части моря Лаптевых.

Литература

Макробентос, трофические связи.

Болотов, И. Н., Беспалая, Ю. В., & Усачева, О. В. 2012. Экология и эволюция гидробионтов в горячих источниках Субарктики и Арктики: формирование аналогичных сообществ, адаптации видов и микроэволюционные процессы. Успехи современной биологии, 132(1), 77–86.

Галкин, С. В. 2010. Структура и география гидротермальных сообществ мирового океана. Журнал общей биологии, 71(3), 131–143.

Галкин, С. В., & Веденин, А. А. (2015). Макробентос Енисейского залива и прилежащего шельфа Карского моря. Океанология, 55(4), 668–668.

Галкин, С. В., Каменская, О. Е., Будаева, Н. Е. 2008. Состав и структура донных сообществ в гидротермальных районах Брокен Спур, Лост Сити и Рейнбоу. Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, 113(6), 24–32.

Горбатенко, К. М., Кияшко, С., Лаженцев, А. Е., Емелин, П. О., & Гришан, Р. П. 2015. Донно-пелагические связи в глубоководной части Охотского моря по данным анализа стабильных изотопов С и N. Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра), 183.

Горбатенко, К. М., Кияшко, С. И., Лаженцев, А. Е., Надточий, В. А., & Савин, А. Б. 2008. Бенто-пелагические трофические связи в ихтиоценое шельфовой зоны западной части Берингова моря по данным анализа содержимого желудков и

стабильных изотопов углерода и азота. Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра), 53.

Горбатенко, К. М., Лаженцев, А. Е., & Кияшко, С. 2014. Сезонная динамика трофического статуса зоопланктона Охотского моря (по данным анализа стабильных изотопов С и N). Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра), 177.

Кодина, Л. А., Люцарев, С. В., & Богачева, М. П. 2001. Изотопный состав органического углерода ледовой взвеси как показатель источника осадочного материала дрейфующего льда Арктики. Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М.: Научный мир, 244–255.

Матишов, Г. Г., Денисов, В. В., & Дженюк, С. Л. 2006. Делимитация больших морских экосистем Арктики как задача комплексного географического районирования океанов. Известия Российской академии наук. Серия географическая, (3), 5–18.

Мелекесцева, И. Ю. 2009. Обзор новых гидротермальных полей с сульфидными рудами в Мировом океане (дополнение к кадастру 2004 г.). Металлогения древних и современных океанов, 15, 13–20.

Одинцов, В. С., Кияшко, С. И. 2018. Вариации изотопного состава углерода и азота у крабов *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788) и *Hyas coarctatus* Leach, 1816 (Crustacea: Decapoda) из Чукотского моря. Биология моря, 44(1), 51–57.

Петров, К. М. 2008. Принципы физико-географической дифференциации Арктических морей: Карское море. Известия Российской академии наук. Серия географическая, (6), 19–30.

Саввичев, А. С., Русанов, И. И., Пименов, Н. В., Захарова, Е. Е., Веслополова, Е. Ф., Леин, А. Ю., Иванов, М. В. 2007. Микробные процессы циклов углерода и серы в Чукотском море. Микробиология, 76(5), 682–693.

Тарасов, В. Г., Пропп, М. В., Пропп, Л. Н. 1986. Гидротермальные проявления и специфическая экосистема в кальдере Кратерной (Курильские острова). Марине биологий, (2), 72–74.

Удалов, А. А., Веденин, А. А., & Симаков, М. И. 2016. Донная фауна залива Благополучия (Новая Земля, Карское море). Океанология, 56(5), 720–730.

Чава, А. И., Удалов, А. А., Веденин, А. А., Симаков, М. И., Щука, С. А., & Мокиевский, В. О. 2017. Донная фауна залива Цивольки (архипелаг Новая Земля, Карское море). *Океанология*, 57(1), 160–170.

Bell, L. E., Bluhm, B. A., & Iken, K. 2016. Influence of terrestrial organic matter in marine food webs of the Beaufort Sea shelf and slope. *Marine Ecology Progress Series*, 550, 1–24.

Galkin, S. V., Vedenin, A. A., Minin, K. V., Rogacheva, A. V., Molodtsova, T. N., Rajskiy, A. K., & Kucheruk, N. V. 2015. Macrobenthos of the southern part of St. Anna trough and the adjacent Kara Sea shelf. *Oceanology*, 55(4), 614–622.

Taupp, T., Hellmann, C., Gergs, R., Winkelmann, C., & Wetzel, M. A. 2017. Life under exceptional conditions— isotopic niches of benthic invertebrates in the estuarine maximum turbidity zone. *Estuaries and Coasts*, 40(2), 502–512.

Vedenin, A. A., Galkin, S. V., & Kozlovskiy, V. V. 2015. Macrobenthos of the Ob Bay and adjacent Kara Sea shelf. *Polar Biology*, 38(6), 829–844.

Мейобентос.

Гальцова, В. В., Кулангиева, Л. В., & Погребов, В. Б. 2004. Мейобентос из районов бывшего ядерного полигона и мест захоронения радиоактивных отходов вокруг архипелага Новая Земля (Баренцево и Карское моря). *Биология моря*, 30(4), 263–271.

Портнова, Д. А., Гарлицкая, Л. А., Удалов, А. А., & Кондарь, Д. В. 2017. Мейобентос и сообщество нематод Енисейского залива и прилегающего шельфа Карского моря. *Океанология*, 57(1), 146–159.

Чертопруд, Е. С., Галицкая, Л. А. 2007. Сравнительный анализ фаун Harpacticoida (Copepoda) северных и южных морей России. *Океанология*, 47(6), 875–884.

Ahnert, A., Schriever, G. 2001. Response of abyssal Copepoda Harpacticoida (Crustacea) and other meiobenthos to an artificial disturbance and its bearing on future mining for polymetallic nodules. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 48(17–18), 3779–3794.

Azovsky, A. I., Garlitska, L. A., & Chertoprud, E. S. 2012. Broad-scale patterns in local diversity of marine benthic harpacticoid copepods (Crustacea). *Marine Ecology Progress Series*, 460, 63–77.

Azovskii, A. I., Chertoprud, E. S. 2003. Spatio-temporal dynamics of the White Sea littoral harpacticoid community. *OCEANOLOGY C/C OF OKEANOLOGIJA*, 43(1), 103–111.

Chertoprud, E., Abramova, E., Korsun, S., Martynov, F., & Garlitska, L. 2018. Composition of Harpacticoida (Crustacea, Copepoda) of the Laptev Sea in comparison with faunas of adjacent Arctic seas. *Polar Biology*, 41(4), 697–712.

Novichkova, A. A., & Chertoprud, E. S. 2017. Cladocera and Copepoda of Shokalsky Island: new data from northwest Siberia. *Journal of Natural History*, 51(29–30), 1781–1793.

Shimanaga, M., Nomaki, H., & Iijima, K. 2008. Spatial changes in the distributions of deep-sea “Cerviniidae” (Harpacticoida, Copepoda) and their associations with environmental factors in the bathyal zone around Sagami Bay, Japan. *Marine Biology*, 153(4), 493–506.

Фитопланктон.

Ветров А.А., Романкевич Е.А., Беляев Н.А. 2008. Хлорофилл, первичная продукция, потоки и баланс органического углерода в море Лаптевых // *Геохимия*. № 10. С. 1122–1130.

Дружкова Е.И., Макаревич П.Р. 2013. Исследования фитопланктона моря Лаптевых: История и современность, 2010 г. Труды Кольского научного центра 1. 6–14.

Киселев И.А. 1932. Материалы по микрофлоре юго-восточной части моря Лаптевых // *Исследования морей СССР*. Л.: Изд. Гидролог. ин-та, 1932. Вып. 15. С. 67–103.

Макаревич П.Р. 1998/ Весеннее состояние микрофитопланктонного сообщества юго-восточной части Баренцева и юго-западной части Карского морей на акваториях, покрытых льдами // *Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути)*. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1998. С. 138–149.

Сорокин Ю.И., Сорокин П.Ю., Проткова Ю.В. 1993. Первичная продукция и распределение планктона в эстуарии реки Лены и прилегающем районе моря Лаптевых // Докл. РАН. Т. 335, № 4. С. 522–525.

Тимофеев С.Ф. 1998. Пелагическая экосистема моря Лаптевых // Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1998. С. 75–88.

Alekseev G.V. 1994. The Arctic seas in the Arctic climate system. Russian-German cooperation in the Siberian Shelf seas: Geo-System Laptev-Sea // Berichte zur Polar-forschung. № 144. P. 3–8.

Gran H.H. 1904. Diatomaceae from the Ice-floes and plankton of the Arctic ocean // The Norwegian North-Polar Expedition. 1893–1896. Sci. Results. V. IV(11). P. 3–74.

Sorokin Yu.I., Sorokin P.Yu. 1996. Plankton and primary production in the Lena Delta estuary and in the south-eastern Laptev Sea // Estuarine Coastal and Shelf Sci. V. 43. P. 399–418.

Микробиота.

Артемчук Н.Я. Микофлора морей СССР. М.: Наука. 1981. 192 с.

Бубнова Е.Н., Никитин Д.А. Грибы в Донных Грунтах Баренцева И Карского Морей. Биология моря 2017;43:366–371.

Кирцидели И.Ю., Власов Д.Ю., Баранцевич Е.П., Крыленков В.А. Распространение терригенных микромицетов в водах арктических морей. Микология И Фитопатология 2012;46:306–310.

Коновалова О.П., Бубнова Е.Н. Грибы на бурых водорослях ASCOPHYLLUM NODOSUM и PELVETIA CANALICULATA в Кандалакшском заливе Белого моря. Микология И Фитопатология 2011;45:240–248.

Литвинов М.А., Дудка И.А. Методы исследования микроскопических грибов пресных и соленых (морских) водоемов. Наука. Ленинград. 1975. 151 с.

Borzykh, O.G., L.V. Zvereva. 2012. Mycobiota of the giant oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1787) (*Bivalvia*) from the Peter the Great Bay of the Sea of Japan. Microbiology. (Mikrobiologiya). 81: 109–111.

Borzykh, O.G., L.V. Zvereva. 2014. Comparison of fungal complexes of Japanese scallop *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1856) from different areas in the Peter the Great Bay of the Sea of Japan. *Microbiology. (Mikrobiologiya)*. 83: 684–689.

Borzykh, O.G., L.V. Zvereva. 2015. Mycobiota of the bivalve mollusk *Anadara broughtoni* (Schrenck, 1867) from various parts of Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Russ. J. Mar. Biol.* 41: 321–323.

Bubnova E.N. Fungal diversity in bottom sediments of the Kara Sea. *Botanica Marina* 2010;53:595–600.

Rämä T., Hassett B.T., Bubnova E. Arctic marine fungi: from filaments and flagella to operation taxonomic units and beyond // *Botanica marina*. 2017. Vol. 60, no. 4. P. 433–452.