

Санкт-Петербургский Государственный университет

Биологический факультет

Кафедра Ихтиологии и Гидробиологии

Сапунова Анастасия Игоревна

Современное состояние макрозообентоса моря Лаптевых

Выпускная квалификационная работа магистра

(магистерская диссертация)

Работа выполнена на кафедре Ихтиологии и Гидробиологии

Научный руководитель:

Старший преподаватель каф. ихтиологии и гидробиологии СПбГУ,

к.б.н., доцент, И. А. Стогов

Консультанты:

Главный специалист ЗАО «Экопроект», к.б.н., доцент, С.М.Чивилев,

Главный специалист ЗАО «Экопроект», к.б.н., О.А.Кийко

Санкт-Петербург

2017

Оглавление

Введение	3
1. Обзор литературы	4
1.1 Физико-географическая характеристика моря Лаптевых	4
1.2 Гидрологические условия	6
1.3 Гидрохимические условия	12
1.3.1 Растворенный кислород	12
1.3.2 Водородный показатель (рН)	13
1.3.3 Биохимическое потребление кислорода (БПК)	14
1.3.4 Биогенные соединения (фосфаты, кремний, соединения азота)	15
1.4 Грунты	18
1.4.1 Гранулометрический состав донных отложений	19
1.4.2 Загрязнение донных отложений	20
1.5 Гидробиологические исследования моря Лаптевых	21
1.6 Макрозообентос моря Лаптевых	22
2. Материал и методы	25
Благодарности	27
3. Результаты и обсуждение	28
3.1 Гидрологические показатели	28
3.2 Гранулометрический состав грунта	29
3.3 Макрозообентос моря Лаптевых	30
3.3.1 Видовой состав	30
3.3.2 Показатели обилия макрозообентоса	32
3.3.3 Анализ сопряженности физико-химических и биологических показателей	41
3.3.4 Экологическая характеристика массовых видов	44
Заключение и выводы	47
Список литературы	50
Приложение	55

Введение

Море Лаптевых, являясь окраинным морем Северного Ледовитого океана, обладает суровым климатом. Активное освоение ресурсов шельфа арктических морей, интенсификация судоходства по Северному морскому пути и связанное с этими процессами увеличение численности населения на побережье и вынос загрязняющих веществ с материковым стоком, впоследствии могут создать угрозу экологическому состоянию моря Лаптевых и других арктических морей России. Исследования донных биоценозов позволяют дать надежную оценку состояния морских экосистем, в связи с чем регулярный мониторинг макрозообентоса исключительно важен для характеристики экологического состояния моря Лаптевых и предотвращения возможных экологических рисков.

Цель данной работы: на основании данных, полученных в ходе рейса НИС «Дальние Зеленцы» (август-октябрь 2014 г.), оценить видовой состав, показатели обилия и пространственное распределение макрозообентоса юго-западной части моря Лаптевых.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. На основании собственных и литературных данных оценить основные структурные показатели (видовой состав, численность и биомасса) макрозообентоса юго-западной части моря Лаптевых.
2. Выявить комплекс физико-химических показателей придонной воды и донных отложений, определяющих закономерности распределения донных беспозвоночных.

Научная новизна и теоретическая ценность работы заключаются в том, что на основании сопоставления данных 2014 г. с данными прежних лет проанализированы структурные показатели макрозообентоса юго-западной части моря Лаптевых и выявлены ключевые физико-химические показатели придонной воды и донных отложений, определяющие структуру донных ценозов.

Практическая ценность работы состоит в том, что современные сведения о гидрохимическом режиме, придонных водах, донных осадках и структурных показателях макрозообентоса моря Лаптевых могут помочь в оценке возможного воздействия возрастающего антропоического воздействия на донные экосистемы арктических морей России.

1. Обзор литературы

1.1 Физико-географическая характеристика моря Лаптевых

Море Лаптевых является материковым окраинным морем и расположено между архипелагом Северная Земля, полуостровом Таймыр на западе и Новосибирскими островами на востоке. Его площадь составляет 662 тыс. км², объем — 353 тыс. км³, средняя глубина — 533 м, наибольшая глубина — 3534 м (Национальный атлас России [Электронный ресурс]). Море занимает шельф, материковый склон и часть ложа океана. Дно представляет собой равнину со слабо пересеченным рельефом. Шельфовая часть моря характеризуется депрессиями эрозионного и тектонического происхождения, часто наблюдаются мелководья и банки. Большая часть моря мелководна – глубины до 50 м занимают половину его площади. Южные районы дна (южнее 76° с. ш.) находятся на глубине менее 25 метров. Прибрежная отмель с глубиной до 10 м достигает максимальной ширины 75 - 100 км у дельты Лены и вдоль Лено-Анабарского междуречья (Геология..., 2004). В северной части глубины увеличиваются до 100м, после чего резко возрастают до 2000 м и более (Добровольский, Залогин, 1982) (Рисунок 1.1.1).

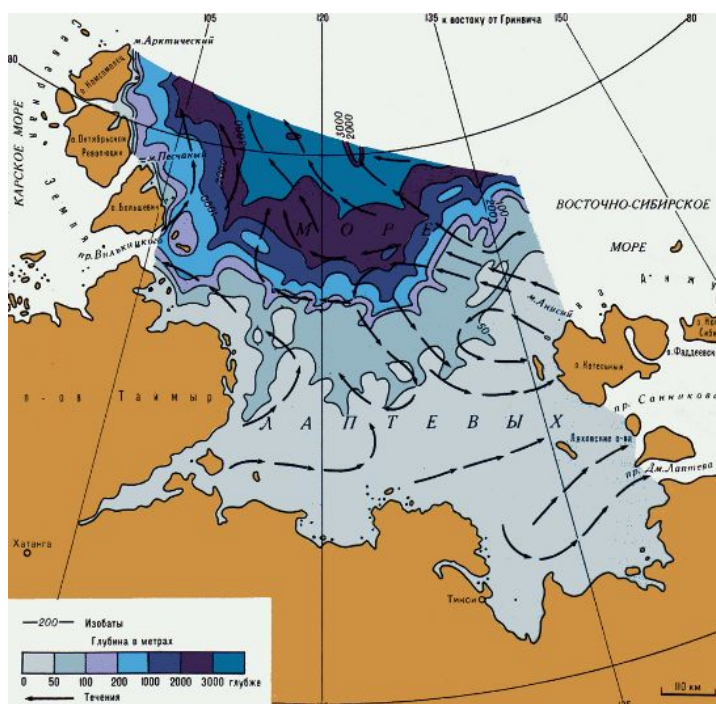


Рисунок 1.1.1- Рельеф дна и течения моря Лаптевых (База Знаний [Электронный ресурс])

Грунт в мелководных районах моря является илисто-песчаным, иногда с присутствием гальки, валунов, на больших глубинах – илистый. На востоке, под тонким слоем осадков

наблюдается слой древнего «реликтового» льда (Encyclopædia Britannica [Электронный ресурс]).

Море Лаптевых является одним из самых суровых арктических морей, благодаря своему положению в высоких широтах, удаленности от Тихого и Атлантического океанов и близости полярных льдов. Климат можно охарактеризовать как морской полярный, континентальный. Континентальность климата проявляется в сравнительно больших годовых колебаниях температуры воздуха (Добровольский, Залогин, 1982).

Полярная ночь на юге продолжается 3 месяца и 5 месяцев на севере. В северной части моря температура воздуха ниже 0°C сохраняется в течении 11 месяцев, в южной – 9 месяцев.

Атмосферная циркуляция в районе моря Лаптевых имеет сезонный характер. Зимой море находится под влиянием областей высокого атмосферного давления (Добровольский, Залогин, 1982). В холодное время года исландский минимум и азиатский максимум определяют атмосферную циркуляцию. С осени по весну большая часть моря находится в зоне воздействия ложбины исландского минимума. При таком распределении давления преобладают ветра, дующие с материка на море – зимний муссон. Из Атлантики вдоль ложбины в море Лаптевых приходят циклоны, смягчающие климат и повышающие температуру на 1-2°C (в сравнении с материком и северными районами) (Атлас..., 2007 [Электронный ресурс]).

С наступлением теплого сезона, области высокого атмосферного давления начинают разрушаться, наблюдаются неустойчивые по направлению порывистые ветры. Летом давление над морем повышено и преобладают слабые северные ветры скоростью до 3-4 м/с, также наблюдается усиление циклонической деятельности (Добровольский, Залогин, 1982).

С июля по сентябрь в южной части моря наблюдаются самые благоприятные погодные условия. Это связано с сильным прогревом суши, усиленной циклонической активностью и стоком р. Лена, который оказывает отепляющее воздействие. Лето в восточной части теплее, чем в западной, но холоднее, чем в южной части моря Лаптевых (Люция..., 2009).

Зимой часто наблюдаются вьюги и метели, летом – снежные заряды, туманы (Большая Советская Энциклопедия [Электронный ресурс]).

Таким образом, своеобразие температурного режима вызвано как континентальностью климата, так и влиянием Сибирского антициклона большую часть года.

«Длительное и сильное охлаждение при спокойном ветровом режиме зимы – важнейшая климатическая черта моря» (Залогин, Косарев, 1999)

Отрицательная температура воздуха летом для моря Лаптевых типична. На островных станциях мониторинга переход к от положительных температур к отрицательным наблюдается в августе, а на побережье в сентябре. В конце осени температура воздуха понижается до -22°C (Атлас..., 2007 [Электронный ресурс]; Лоция..., 2009) (Таблица 1.1.1).

Таблица 1.1.1 - Среднемесячные температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) по данным станций ГМС в районе моря Лаптевых (Окончательный отчет..., 2015)

Станция ГМС	Месяц					
	Июнь	Июль	август	Сентябрь	октябрь	ноябрь
о. Дунай	0,0	3,2	4,6	0,5	-10,0	-22,1
о. Котельный	-0,4	2,6	1,9	-1,7	-11,2	-22,0

Зимой воздух сильно выхолаживается, и температура воздуха над морем имеет тенденцию понижаться с северо-запада на юго-восток (в районе бухты Тикси температура воздуха достигает $-26 - 29^{\circ}\text{C}$ (Залогин, Косарев, 1999).

Минимальная зарегистрированная температура – около -50°C , максимальная 10°C . На берегах максимальная температура воздуха может достигать $22-24^{\circ}\text{C}$. Средняя температура января от -31°C до -34°C . Средняя температура воздуха в июле в северной части моря $0-1^{\circ}\text{C}$, а в южной части $5-7^{\circ}\text{C}$ (Большая Советская Энциклопедия [Электронный ресурс]).

Летом, в августе температура воздуха в центральной части моря прогревается до $1 - 5^{\circ}\text{C}$. Редко, на побережье в закрытых бухтах воздух сильно прогревается, так в бухте Тикси температура воздуха может достигать $32,7^{\circ}\text{C}$ (Залогин, Косарев, 1999).

1.2 Гидрологические условия

Суровый континентальный климат, льды, занимающие обширные пространства моря, и большой материковый сток оказывают важное влияние на гидрологические условия моря Лаптевых.

Из-за высокой ледовитости, которая наблюдается в течение всего года, циркуляция вод моря Лаптевых изучена слабо. Суровые условия затрудняют проведение исследований. На основании инструментальных наблюдений за течениями, выполненных косвенными методами, возможно было составить только приблизительную схему течений (Кулаков, 2008) (Рисунок 1.2.1).

В море Лаптевых, как и в других арктических морях России, в поверхностном слое выражена циклоническая циркуляция вод. Воды движутся вдоль побережья с запада на восток, образуя Сибирское вдольбереговое течение. Впервые это течение было описано Отто Свердрупом (Sverdrup) в 1929 г.

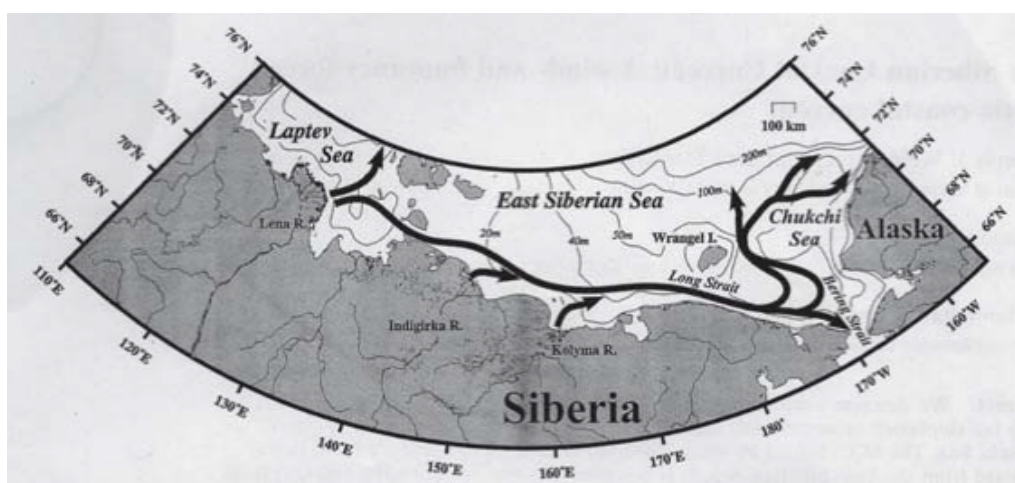


Рисунок 1.2.1 - Идеализированная схема течений моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей (Кулаков, 2008)

Сибирское вдольбереговое течение берет начало в море Лаптевых, усиливается Ленским течением, в последствии отклоняется на север – северо-запад и уже в виде Новосибирского течения присоединяется к Трансарктическому течению за пределами моря Лаптевых. у Северной Земли происходит ответвление Восточно-Таймырского течения, движущегося на юг и замыкающее кольцо течений в море (Добровольский,

Залогин, 1982). Вдольбереговое течение движется вдоль побережья Восточно-Сибирского моря и через пролив Лонга проникает в Чукотское море (Кулаков, 2008).

Термохалинная структура моря Лаптевых находится под воздействием ряда факторов – метеорологических процессов, адвекции поверхностных, промежуточных и придонных вод, материковым стоком, образованием и таянием льда.

Большую часть года температура воды в море Лаптевых близка к точке замерзания. Для моря характерно, что после летнего максимума, с наступлением осени температуры воды на поверхности быстро понижаются и зимой варьируют от $-0,8^{\circ}\text{C}$ (у о. Мостах) до $-1,7^{\circ}\text{C}$ (у м. Челюскин) (Залогин, Косарев, 1999). Весной с началом прогрева начинается таяние льдов и показатели температура воды почти не изменяются. Другая ситуация наблюдается в прибрежных районах, которые быстрее освобождаются от ледяного покрова, и температура воды повышается.

Для моря Лаптевых характерно, что температура повышается с севера на юг и с запада на восток. Таким образом, северные районы характеризуются более низкими температурами (у северной части о. Котельный и у м. Челюскин $+0,8—1,0^{\circ}\text{C}$).

Низкие температуры $+2-3^{\circ}\text{C}$ характерны и для западной части моря, куда приходят воды Арктического бассейна. В отличие от западной части моря, восточная прогревается теплыми речными водами, и температура на поверхности может достигать $+6—8^{\circ}\text{C}$. В центральных районах температура воды равна $+6—8^{\circ}\text{C}$ (Добровольский, Залогин, 1982).

Вертикальное распределение температуры воды изменяется в зависимости от сезона. Изменение температур с глубиной отчетливо прослеживается только во время летнего периода.

Летом южная часть моря, освобожденная ото льда, подвержена адвекции (горизонтальному переносу) пресных речных вод. Таким образом, несмотря на короткое лето, поверхностный слой (10-15 м) хорошо прогревается. На юго-востоке моря температуры достигают $8—10^{\circ}\text{C}$, а в центральной части $3—4^{\circ}\text{C}$. На глубине 25 м температура опускается до $-1,4—1,5^{\circ}\text{C}$ и сохраняется практически неизменной до дна (Добровольский, Залогин, 1982). В западной части различия в температуре по глубине проявляются меньше, благодаря более слабому прогреву водных масс.

Зимой, с наступлением холодов поверхностные воды моря Лаптевых охлаждаются. Уже в конце сентября температура воды во всех частях моря опускается ниже 0°C . При дальнейшем охлаждении начинается процесс ледообразования, и температура поверхностных вод принимает значение температуры замерзания при соответствующей солености.

В районах с глубинами до 50-60 м величина температуры от поверхности до дна не изменяется. В прибрежной зоне наблюдается температура $-1,0$ — $1,2^{\circ}\text{C}$, а в открытом море $-1,6^{\circ}\text{C}$. На больших глубинах повышается соленость и на горизонтах 50-60 м температура повышается на $0,1$ — $0,2^{\circ}\text{C}$ (Залогин, Косарев, 1999). На севере в глубоководных районах отрицательная температура сохраняется от поверхности до горизонта 100 м, после чего повышается до $0,6$ — $0,8^{\circ}\text{C}$ и охраняется до горизонта 300 м, ниже которого снова понижается при приближении к дну. Наблюдаемое повышение температур в горизонте от 100 до 300 м вызвано поступлением теплых атлантических вод из Центрального Арктического бассейна (Добровольский, Залогин, 1982).

Соленость в море Лаптевых варьирует в пределах от 1 до 34‰. Опресненные воды с соленостью 20-30‰ являются преобладающими. Характерно увеличение солености с юго-востока на северо-запад и север (Климат..., 2006; Климатические поля..., 2007).

Юго-восточная часть моря Лаптевых является самой опресненной. К примеру, в губе Буор-Хая соленость понижается до 5‰, при этом севернее повышаясь до 10-15‰. В западной части моря севернее линии о. Петра — м. Анисий наблюдается соленость 30-32‰ (Добровольский, Залогин, 1982).

Осенью происходит сокращение речного стока, в октябре начинается процесс ледообразования, вследствие чего происходит осолонение поверхностного горизонта.

Вертикальное распределение солености изменяется в зависимости от сезона. В мелководных районах зимой она увеличивается от поверхности до 10-15 м, после чего сохраняется практически неизменной до дна. Конвекция при ледообразовании играет большую роль, так как конвективное перемешивание в западных районах может достигать дна и тогда наблюдается однородное распределение температуры и солености по вертикали.

В глубоководных районах соленость начинает расти не с поверхностного горизонта, а с подлежащих, увеличиваясь ко дну. Весной для моря характерно резкое понижение солености в поверхностном слое, связанное с началом таяния льдов (Климат..., 2006).

Начинает понижаться соленость при таянии льдов в июне – летом в районах подверженных воздействию речных вод, поверхностный слой (5-10 м) является очень опресненным. На более глубоких горизонтах (10-25 м) соленость резко повышается и ее градиент может достигать 20‰ на 1 м. Глубже соленость остается практически неизменной.

В северной части моря можно наблюдать быстрое увеличение солености от поверхности до 50м. На глубине от 50 м до 300 м соленость растет медленнее от 29‰ до 33-34‰, после практически не изменяясь (Добровольский, Залогин, 1982).

Материковый склон является зоной взаимодействия шельфовых водных масс и водных масс Арктического бассейна. Там возможно возникновение интенсивных вертикальных движений и наблюдаются поверхностные, промежуточные теплые атлантические, глубинные и донные воды (Рисунок 1.2.2). Атлантические воды располагаются на глубине 200 – 800 м и характеризуются положительными температурами.

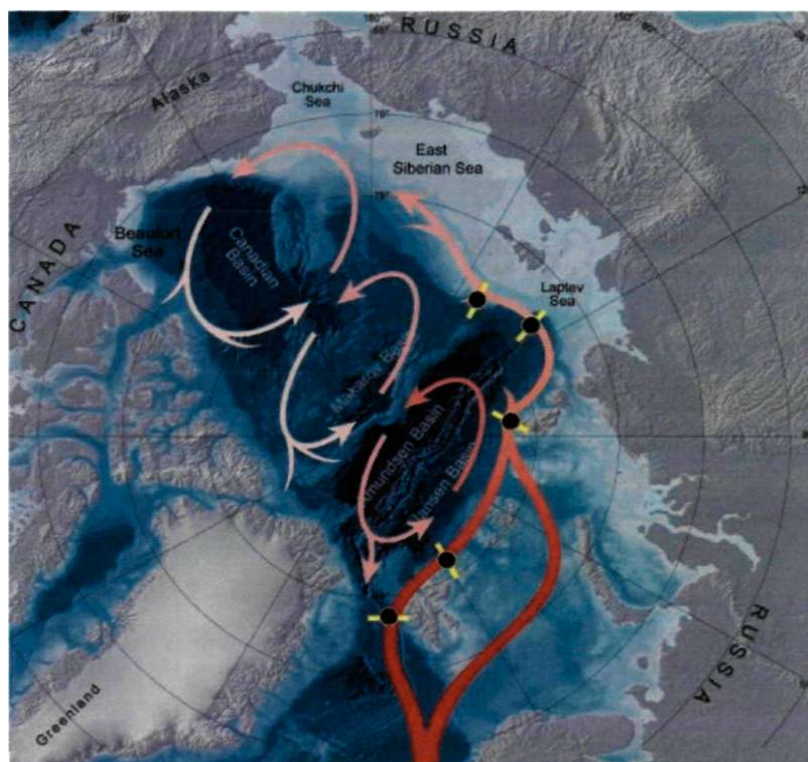


Рисунок 1.2.2 - Схема переноса атлантических вод в Северном Ледовитом океане (Pollyakov et al., 2010). Красным цветом обозначены течения у поверхности и в подповерхностном слое, розовым цветом обозначены глубинные течения.

Материковый сток имеет важное значение для формирования гидрологических условий моря Лаптевых. Общий объем стока в море составляет 720 км^3 , при этом большая часть обусловлена стоком рек Лена, которая ежегодно приносит 515 км^3 воды, и Хатанга - 100 км^3 . Распределение стока неравномерно и 90% приходится на летние месяцы, что обусловлено снеговым питанием сибирских рек, впадающих в море. Неравномерность стока наблюдается не только во времени поступления вод, но и в пространстве. Из-за того, что основная часть материкового стока в море обеспечивает р.Лена, большая часть речных вод поступает в восточную часть моря, после распространяясь к северо-востоку (Добровольский, Залогин, 1982).

Большую часть года море Лаптевых покрыто льдом. На севере льдообразование начинается в сентябре, на юге в октябре. Зимой на востоке моря в отмелой части развивается припай толщиной до 2 м, при этом площадь припая занимает 30% площади моря (Национальный атлас России [Электронный ресурс]) (Приложение В).

Основная зона с наиболее развитым припаем в море Лаптевых располагается в восточной части моря. Припайная зона в южной и юго-восточной зоне моря Лаптевых характеризуется чрезвычайно неровным дном со множеством банок, где глубины не превышают 5 м. Припай в период максимального развития может занимать до 39 % акватории моря. 90% припая формируется в южной и юго-восточной части моря, это составляет около 190 тыс. км^2 (Карклин и др., 2013).

Вследствие выноса льдов на север, зимой вдоль мористого края припая сохраняется Великая Сибирская полынья, за которой находится зона дрейфующих льдов. Ширина зоны полыньи в разных участках может составлять от десятков до сотен километром. Отдельные участки полыньи называют Восточно-Североземельской, Таймырской, Ленской и Новосибирской (Добровольский, Залогин, 1982). Летом происходит разрушение припая, но на северо-западе и юго-востоке моря сохраняются устойчивые ледяные массивы (Большая Советская Энциклопедия [Электронный ресурс]).

Плотность воды в море Лаптевых в большей степени определяется соленостью, чем температурой. Плотность уменьшается с северо-запада на юго-восток, что связано с распределением вод в юго-восточной части, вызванным обильным материковым стоком. Зимой и осенью вода в море Лаптевых является более плотной, чем летом и весной. Характерно также и увеличение плотности с глубиной. Зимой и весной до начала таяния льдов плотность является практически одинаковой во всей толще воды. Летом возникает скачок плотности, вызванный резким изменением температуры и солености на горизонте 10-15 м. Плотностная стратификация вод хорошо прослеживается в летний период и резко выражена в юго-восточных, центральных районах и у кромки льдов. Неоднородность стратификации создает различные условия для перемешивания в разных районах моря.

Ветровое перемешивание выражено слабо, больше всего проявляется весной и летом. При этом, в восточной части моря происходит перемешивание верхних слоев до 5-7 м, а в западной части до 10 м (Добровольский, Залогин, 1982).

Из-за сильного охлаждения водных масс зимой и интенсивного образования льдов развивается конвекционное перемешивание, начинаясь на северо-востоке и продвигаясь к юго-восточной части моря. Плотностное перемешивание на самых больших глубинах (до 90-100 м) происходит на севере моря. Этому способствуют раннее льдообразование и небольшая степень вертикального расслоения водных масс. На глубинах 40-50 м в центральной части моря Лаптевых конвекция начинает действовать в начале зимы, а на глубинах до 25 м. в южной части моря она достигает дна к концу зимы.

1.3 Гидрохимические условия

Гидрохимический режим моря Лаптевых формируется под воздействием комплекса факторов: влияние вод Арктического бассейна и сопредельных морей, вод речного стока, образование и таяние льда, различные гидрометеорологические условия, рельеф дна, биологические и физико-химические процессы (Новихин, Смагин, 2007).

1.3.1 Растворенный кислород

Море Лаптевых, низкие среднегодовые температуры воды, которые обеспечивают высокую растворимость газов, ледяной покров, ограничивающий газообмен между

океаном и атмосферой, короткий период фотосинтеза, определяют содержание кислорода в поверхностных водах.

Летом для поверхностных вод, характерно выделение кислорода в атмосферу, зимой – его поглощение. В слое ниже поверхностных арктических вод содержание растворенного кислорода с глубиной быстро уменьшается.

В сезон потепления значительная часть моря освобождается ото льда, поверхностные воды прогреваются, происходит активное развитие фитопланктона, начинается интенсивный процесс фотосинтеза, вследствие чего наблюдается перенасыщение поверхностного слоя кислородом (Национальный атлас России [Электронный ресурс]). Летом почти по всему морю Лаптевых значение абсолютного содержания кислорода на поверхности составляет от 8,2 до 8,9 мл/л (11,7–12,7 мг/л) (Нитишинский, 2003).

В связи с тем, что в южной части моря условия для аэрации хуже, из-за резких различий в плотности по вертикали, там наблюдаются более низкие показатели содержания растворенного кислорода.

В конце лета горизонт от 0 до 10 м в большинстве районов имеет около 100% насыщения кислородом. При увеличении глубины, количество растворенного кислорода уменьшается, причем данная тенденция наиболее четко прослеживается в южных районах, в отличие от районов на севере моря, куда поступают хорошо аэрированные воды из Центрального арктического бассейна (Добровольский, Залогин, 1982)

С похолоданием происходит спад в биологической активности и насыщенность кислородом поверхностных вод снижается. Зимой из-за ледового покрова кислород не поступает из атмосферы, а процесс фотосинтеза прекращается из-за отсутствия света. Несмотря на то что, происходит понижение относительного содержания кислорода, абсолютное содержание кислорода в поверхностных водах повышается до 8,5 мл/л (12,1 мг/л) на северо-западе и до 9,2 мл/л (13,1 мг/л) на юго-востоке моря. Причиной данного явления служит повышение растворимости кислорода вследствие понижения температуры воды (Нитишинский, 2003).

В море Лаптевых в придонных водах типичен дефицит растворенного кислорода. Он особенно выражен в юго-восточной части моря, в связи с выносом речным стоком большого количества органического вещества, на окисление которого расходуется

растворенный в воде кислород. В весенний период дефицит достигает 55 % (5,1–8,0 мг/л), а в углублениях дна наблюдаются зоны стагнации (Нитишинский, 2003; Новихин и др., 2017).

1.3.2 Водородный показатель (pH)

Водородный показатель, как и растворенный кислород, является важным индикатором состояния водной среды и подвержен значительным межсезонным изменениям. pH является показателем интенсивности развития первично-продукционных и деструкционных процессов, а также характеризует компоненты карбонатной системы и условия газообмена с атмосферой (Окончательный отчет..., 2015а; 2015б).

Наибольшие значения pH характерны для поверхностных вод океана (Национальный атлас России [Электронный ресурс]). Летом, во время увеличения потребления углекислого газа продуцентами в процессе фотосинтеза, а также под влиянием теплых температур значения водородного показателя становятся максимальными в фотическом слое (Окончательный отчет..., 2015а; 2015б).

Для вертикального распределения pH в море Лаптевых характерно наличие минимумов и максимумов. При том, глубина их залегания определяется гидрологическим режимом и гидрохимической структурой (Национальный атлас России [Электронный ресурс]).

Диапазон изменения pH воды на мелководных участках моря Лаптевых составляет 7,92–8,30 (Таблица 1.3.2.1). При рассмотрении вертикального распределения величины pH, отчетливо выделяются «застойные» воды, расположенные в придонном слое, где наряду с уменьшением концентраций растворенного кислорода до минимума, обычно наблюдались и минимальные величины pH.

Таблица 1.3.2.1 - Величины pH на стандартных горизонтах в юго-восточной части моря Лаптевых (На основании данных из Окончательного отчета..., 2015а; 2015б)

Горизонт	Среднее	Мин.	Макс.
1	8,18	8,08	8,27
5	8,15	8,05	8,29
10	8,15	7,99	8,28
15	8,13	7,96	8,28

20	8,13	7,95	8,28
25	8,13	7,94	8,29
30	8,12	7,93	8,30
35	8,12	7,92	8,29
40	8,12	7,98	8,28
45	8,12	8,02	8,26
50	8,13	8,02	8,25
55	8,14	8,05	8,24
60	8,10	8,05	8,15
65	8,10	8,04	8,14
70	8,09	8,03	8,14
75	8,12	8,11	8,13
80	8,11	8,10	8,13
85	8,1	-	-
90	8,1	-	-

1.3.3 Биохимическое потребление кислорода (БПК)

Биохимическое потребление кислорода (БПК) – условный показатель содержащегося в воде легко окисляемого органического вещества. Величина выражается в миллиграммах кислорода на 1 л воды. Так как биохимическое потребление кислорода является процессом, продолжительным во времени, для его определения и получения данных о степени загрязнения воды, устанавливают максимальный срок - чаще всего 5 (БПК5) или 20 (БПК20) суток (Большая Медицинская энциклопедия [Электронный ресурс]).

Годовое биохимическое потребление кислорода в море Лаптевых находится в диапазоне от 0,26 мл/л до 6,16 мл/л. БПК варьирует значительно в Ленской эстуарной области – от 0,27 мл/л (застойные водные массы) до 6,16 мл/л в поверхностной зоне, что обусловлено большим количеством выносимого речным стоком органического вещества, на окисление которого и расходуется кислород. В северо-западной части моря наибольшие значения БПК (до 2,4 мл/л) наблюдаются в зонах, где идет процесс фотосинтеза, а наименьшие (0,3 – 2,0 мл/л) – в промежуточной и придонной структурной зоне, которые находятся под воздействием Арктических вод, с низким содержанием органики. В центральной части

наибольшие значения БПК наблюдаются в поверхностной и промежуточной структурной зоне – до 3 мг/л (Нитишинский, 2003).

По данным измерений БПК₅ в летний период показатели изменялись в пределах от 0,03 до 2,17 мгО₂/л, также в придонном слое наблюдались локальные районы с высокими значениями БПК₅. В зоне влияния речного стока максимальные значения БПК₅ наблюдались летом в поверхностном слое. Минимальные значения 0,03-0,04 мгО₂/л были отмечены в придонном слое воды северо-западной и центральной части моря Лаптевых. Высокие значения БПК₅ наблюдались в районе дельты р. Лена - до 0,7 мгО₂/л (Нитишинский, 2003).

1.3.4 Биогенные соединения (фосфаты, кремний, соединения азота)

Гидрохимический режим моря Лаптевых формируется под воздействием комплекса факторов (таких как, речной сток, воды Арктического бассейна, биологические и физико-химические процессы). На севере, северо-западе моря гидрохимический режим определяется в большей степени водами, поступающими из Арктического бассейна, а также таянием льдов. На юге – находится под влиянием материкового стока (Новихин и др., 2017).

Летом происходит распреснение вод, а также их прогрев. Биогенные элементы и органическое вещество поступают с речным стоком. В холодный период на мелководье, в результате конвекционного перемешивания, значения гидрохимических показателей приобретают однородность в вертикальном распределении.

Поверхностный слой является зоной активных биохимических и химических процессов, там происходит фотосинтез и газообмен между морем и атмосферой. Минерализация органического вещества, осаждение биогенных веществ происходит в придонном слое, а далее при размывании, осевшие биогенные вещества поступают в воду (Окончательный отчет..., 2015а; 2015б).

1.3.4.1 Фосфаты

Распределение фосфатов на поверхности моря Лаптевых в летний период определяется поступлением вод из арктического бассейна и речным стоком, а также различными

биохимическими и физическими процессами. Содержание фосфатов на поверхности уменьшается вследствие потребления его фитопланктоном, поэтому, в шельфовой зоне летом наблюдается наименьшая концентрация (Нитишинский, 2003).

Неорганический фосфор представлен в морской воде производными ортофосфорной кислоты (Морской..., 1986).

Скорость потребления фосфатов зависит от освещения, температуры и наличия других питательных солей. Летом в поверхностном слое концентрации фосфатов в шельфовой части моря нередко уменьшаются до аналитического нуля.

После понижения температуры с началом ледообразования и прекращением фотосинтеза, концентрации фосфатов в поверхностном слое повышаются за счет конвективного перемешивания и минерализации органического вещества. В центральной части моря и в приустьевых областях крупных рек наблюдаются наибольшие концентрации - более 12,4 мкг/л (более 0,4 мкмоль/л). В северной части моря концентрации фосфатов редко превышают 9 мкг/л (0,3 мкмоль/л) (Нитишинский, 2003; Окончательный отчет..., 2015а; 2015б). Летом в поверхностном слое в западном и восточном районах моря концентрации, растворенных в морской воде фосфатов, обычно не превышают 15 – 30 мкг/л. С возрастанием глубины концентрации фосфатов на шельфе увеличиваются до 31 мкг/л (1 мкмоль/л) и более (Нитишинский, 2003, Окончательный отчет..., 2015а; 2015б).

1.2.4.2 Кремний

В море Лаптевых, из-за обильного материкового стока поддерживаются высокие концентрации кремния. В среднем за год в море поступает более 1млн т. растворенного неорганического кремния, из которых 80% с водой р. Лена (Нитишинский, 2003).

Содержание кремния в водах моря Лаптевых значительно превышает содержание других биогенных элементов. Растворенный кремний в морской воде находится в виде кремниевых и поликремниевых кислот (Морской..., 1986).

В летний период речной сток определяет поверхностное распределение кремния в юго-восточной части моря. В речных водах в летний период содержится большое количество кремния (1000 – 1800 мкг/л).

Наибольшие концентрации кремния наблюдаются в губе Буор-Хая, вследствие влияния вод реки Лена. Концентрации растворенного кремния в поверхностных водах моря Лаптевых в летний период уменьшаются с юга на север. В северо-западной части моря концентрации растворенного кремния на поверхности не превышают 250 мкг/л (8,9 мкмоль/л) (Нитишинский, 2003; Новихин и др., 2017).

Зимнее распределение кремния в поверхностных водах напоминает летнее, с тем отличием, что зимой в северо-западной части моря концентрация кремния на поверхности несколько ниже летнего, а в юго-восточной части моря – выше (концентрации повышаются до 1800 мкг/л).

Западная часть шельфа моря Лаптевых в летний период находится под влиянием Арктического бассейна, речных вод реки Хатанга и талых вод Таймырского ледяного массива. Концентрации кремния на поверхности в этом районе летом составляют от 850 мкг/л в южной части района до 280 мкг/л в северной. В слое 5 – 15 м может наблюдаться промежуточный минимум с уменьшением концентраций до аналитического нуля. Глубже 20 м наблюдается незначительное повышение концентраций кремния с глубиной до 420 – 560 мкг/л (Нитишинский, 2003, Окончательный отчет..., 2015а; 2015б).

Зимой на мелководных станциях может наблюдаться однородное распределение кремния по вертикали от поверхности до дна, что вызвано перемешиванием при ледообразовании. На глубинах более 10 м концентрация кремния не превышает 1400 мкг/л, за исключением районов вблизи дельты реки Лена (Нитишинский, 2003).

1.2.4.3 Соединения азота

Неорганические формы азота в морской воде представлены аммонийными (NH_4^+), нитритными (NO_2^-) и нитратными (NO_3^-) ионами. Первым неорганическим продуктом процесса биохимического разложения органического азота является аммонийный азот. Аммонийный азот подвергается окислению (нитрификации) до нитритов, нитритные ионы окисляются до нитратов. Следует заметить, что процесс нитрификации проходит в аэробной среде. В поверхностном слое океана при интенсивной солнечной радиации (сильное воздействие ультрафиолета) возможно окисление аммония фотохимическим путем. Помимо этого, возможно осуществление этих реакций через каталитическое воздействие ферментов.

К процессам, которые могут уменьшать содержание неорганического связанного азота относится переход органического азота с детритом в толщу океана, а также денитрификация в анаэробных условиях бактериями сем. Pseudomonadaceae (Алекин, Ляхин, 1984).

Для распределения нитратов и нитритов в море Лаптевых характерно увеличение концентрации с юга на север. Иногда их содержание сокращается до «биологического нуля» (Новихин и др., 2017).

Концентрации нитритов в море Лаптевых в зимний период, как и в летний, невысоки и изменяются от аналитического нуля до 2,8 мкг/л, сохраняя низкие значения на всем шельфе моря Лаптевых в течение всего года. На глубинах более 20 м концентрации нитритов не превышают 5,5 мкг/л.

В поверхностной структурной зоне в летний период концентрации нитратов меняются в пределах от 0 до 42 мкг/л. Наибольшие концентрации нитратов в поверхностной структурной зоне, летом, наблюдаются в юго-восточной и северной частях моря Лаптевых. Зимой концентрации нитратов на поверхности моря выше летних и составляют от 35 мкг/л в юго-восточной части моря до 112 мкг/л на отдельных станциях в центральной части моря (Нитишинский, 2003; Окончательный отчет..., 2015а; 2015б).

1.4 Грунты

Накопление донных осадков в море Лаптевых проходит очень медленно. Это вызвано гидродинамической обстановкой, а ледяной покров способствует формированию подводных аккумулятивных равнин. Осадки, накапливающиеся на дне северных морей, не подвергаются существенным изменениям, в связи с тем, что химические и биохимические процессы являются замедленными из-за преобладания холодных температур воды. Но донные осадки могут впитывать в себя и накапливать большое количество загрязняющих веществ, поступающих в моря (Национальный атлас России [Электронный ресурс]).

Мелкий материал разносится под льдами на большие расстояния. Грубый обломочный материал попадает в центральные районы моря с ледовым переносом.

1.4.1 Гранулометрический состав донных отложений

Поверхностные отложения моря Лаптевых в большинстве случаев представлены терригенными осадками, сложенными в разных соотношениях алевритовой и пелитовой фракциями.

Распределение основных типов грунтов моря Лаптевых по гранулометрическому составу представлено на схеме (Рисунок 1.4.1.1). Поверхностные донные отложения в море Лаптевых в основном представлены алевроглинистыми и песчанистыми осадками. В чистом виде алеврит, пелит и песок встречаются здесь сравнительно редко, чаще отмечаются их смеси с преобладанием того или другого компонента (песчанистый алевропелит или алевроглинистый песок).

Основная площадь шельфа моря на глубинах 50 - 100 м покрыта илом. Коричневые и желтовато-коричневые илы распространяются в южном направлении по подводным долинам реки Лены и Яны. Осадки размываются течениями, после чего взвесь поступает и отлагается в придельтовых и прибрежных районы, таким образом формируя глинистые осадки. «В губе Буор-Хая коричневатого-серый глинистый ил состоит примерно на 70% из фракции пелита, содержит до 29% алеврита и около 1% – песка» (Гуков, 2013). Замкнутая циркуляция вод в данном районе, а также поступление материала, образование илистой взвеси обуславливает формирование глинистого ила.

В море Лаптевых глубины до 10 – 20 м, иногда до 30 м занимают крупнозернистые отложения (пески, илистые пески). Песчаный алеврит залегает до глубин в 45 – 50 м, а глубже 50 м распространяются отложения ила и глинистого ила (Лоция..., 1997).

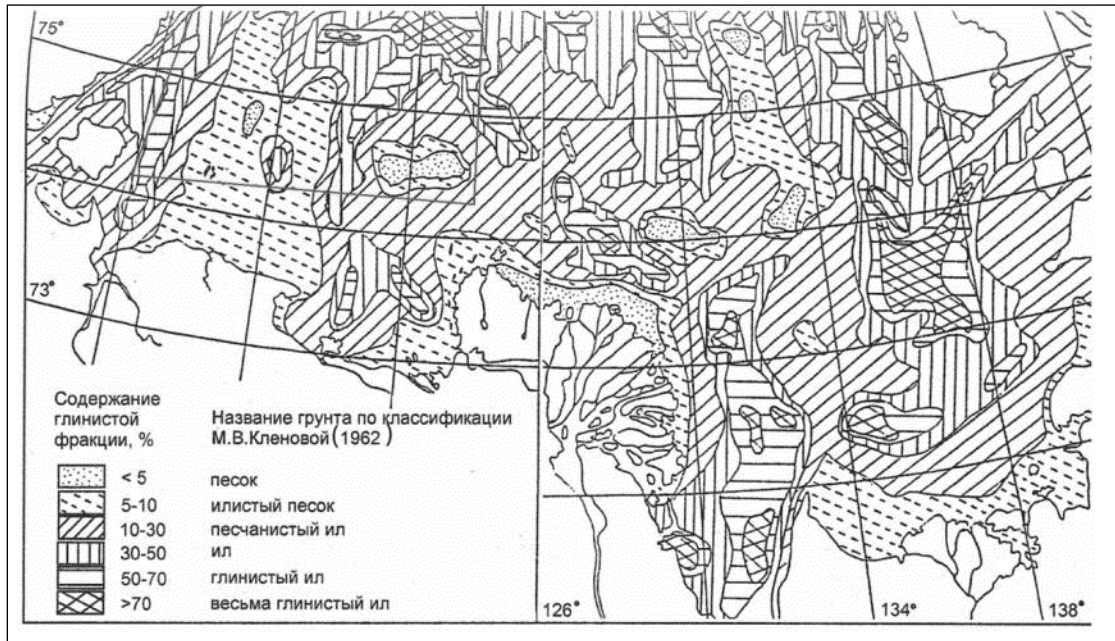


Рисунок 1.4.1.1 - Распределение донных грунтов в море Лаптевых (Гуков, 1999)

В южной, мелководной части на поднятиях дна и вдоль почти всего побережья моря преобладают песок и илистый песок. Районы песчаного грунта простилаются севернее Анабарского залива (шириной 20-50 миль), на востоке от полуострова Таймыр (5-20 миль от берега), на северо-западе от дельты реки Лена (шириной 40-55 миль). Пески и илистые пески занимают дно в районе банок Васильевская, Семеновская и на севере от острова Котельный (Лоция..., 1997).

В мелководных районах моря грунты находятся в особых температурных условиях. Дно до глубины 10 м занимает субаквальная криолитозона, мощностью от 50 до 200 м и более (Фартышев, 1993). Глубина залегания сплошной подводной мерзлой зоны может начинаться почти у самого дна на глубинах 10–15 м и более. В конце позднего плейстоцена, в период регрессии моря, на осушенном шельфе происходило формирование высокольдистых пород.

1.4.2 Загрязнение донных отложений

В море Лаптевых зоной аккумуляции техногенных загрязняющих веществ является его южная шельфовая часть. Основным источником поллютантов является речной сток (р. Лена, Хатанга и Яна). Благодаря отсутствию в прибрежной зоне моря Лаптевых индустриальных центров, наблюдается низкий уровень техногенного загрязнения осадков, в том числе загрязнение нефтепродуктами и сопутствующими полиароматическими

углеводородами. На большинстве участков дна загрязнение нефтяными углеводородами отсутствует. Наиболее высокие концентрации нефтепродуктов отмечены в осадках губы Боур-Хая (до 180 мкг/г сухого осадка) и в Хатангском заливе (до 86 мкг/г) (Окончательный отчет..., 2015a; 2015b).

Концентрация хлорорганических соединений в осадках прибрежной зоны очень мала, значительно меньше, чем в других арктических морях России. Средние содержания большого количества элементов, включая такие тяжелые металлы, как Zn, Cu, Pb, Cr незначительны и близки к фоновым для региона значениям.

Уровень содержания радиоактивных веществ из техногенных источников является низким. Активность радиоизотопа ^{134}Cs в донных отложениях фиксируется ниже уровня минимально детектируемой активности. Активность ^{137}Cs в донных отложениях также невелика (Matishov, Matishov, Rissanen, 1998; Окончательный отчет..., 2015a; 2015b).

1.5 Гидробиологические исследования моря Лаптевых

Гидробиологические исследования моря Лаптевых начались в 1875-1879 г. с экспедицией под руководством шведского исследователя А.Э.Норденшельда на судне «Вега», а также дрейфа судна «Фрам» под руководством Ф.Нансена. Тогда и были получены первые сведения о качественном составе фауны моря Лаптевых. На настоящий момент наиболее полно изучены южные, юго-восточные районы моря Лаптевых. С конца XIX и в течение всего XX-го века было проведено множество экспедиций и исследований, направленных на изучение фауны моря Лаптевых

В 1900-1903 гг. работала Русская полярная экспедиция под руководством Э.Толя. Сбор материалов по фауне моря Лаптевых был проведен Л.М.Старокадомским в экспедиции под руководством Б.А.Вилькицкого в 1912-1915 г. В 1918-1920 гг. работала экспедиция на судне «Мод» под руководством Р.Амундсена. В 1927 г. была проведена Якутская экспедиция Академии наук, во время которой А.М.Поповым были получены данные о фауне в юго-восточной части моря Лаптевых и в устье реки Лены. В 1932 г. были получены данные об обследовании В.Л.Вагиным и Н.П.Кондаковым западной части моря в проливах Вилькицкого и Шокальского, а также Л.О.Ретовским у Северной Земли и в южной части моря. Данные о донной фауне моря Лаптевых были дополнены сборами

В.В.Макарова в 1937 г., Г.П.Горбунова в 1937-1938 г., А.П.Андрияшева в 1937 г., В.Л.Вагина и В.М.Колтуна в 1948 г. Бентос эстуария р. Лена был описан К.М.Дерюгинимы в 1932 г. В 1939 г. и в 1946 г. Г.П.Горбуновым был описан бентос в районе Новосибирского мелководья (Экосистемы..., 1990). В 1973 г. в экспедиции, организованной А.Н.Голиковым были проведены исследования зообентоса в районе Новосибирских островов.

Регулярные, в том числе и сезонные гидробиологические исследования в южных и восточных районах моря Лаптевых начали проводиться с 1984 г. сотрудниками Тиксинского Управления по Гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Усть-Ленского заповедника (Гуков, 1999; 2013).

В 1993-1998 гг. были проведены совместные российско-германские экспедиции, позволившие изучить состав, распространение и функционирование биотических систем в море Лаптевых. Всего было проведено 6 экспедиций из которых 3 на российских судах: «Иван Киреев», «Профессор Мультиановский», «Капитан Драницын», а также 3 экспедиции на немецком научно-исследовательском ледоколе «Polarstern». В частности, в экспедициях 1993 и 1995 гг. были получены первые данные о составе и распределении донных сообществ в глубоководной части моря Лаптевых и в районе хребта Ломоносова (Сиренко, Голиков, 2004).

В августе-октябре 2014 г. в ходе рейса НИС «Дальние Зеленцы» были получены комплексные гидробиологические материалы, послужившие основой этой работы.

1.6 Макрозообентос моря Лаптевых

По современным данным в море Лаптевых обитает 1472 вида свободноживущих беспозвоночных макробентоса, мейобентоса и зоопланктона. Для фауны арктических морей характерно, что виды макрозообентоса составляют около 60% от общего числа видов (List of species..., 2001). В настоящее время в море Лаптевых насчитывается 1143 вида макрозообентоса, при этом 804 вида обитают на шельфе (Таблица 1.6.1). Наибольшее число видов относятся к типам: членистоногие (Arthropoda) – 416 видов (из которых 263 вида составляют бокоплавы - Amphipoda), моллюски (Mollusca) – 209 видов (из которых 143 вида составляют брюхоногие моллюски - Gastropoda), кольчатые черви

(Annelida) – 145 видов (из которых 143 вида составляют многощетинковые черви - Polychaeta) и мшанки (Bryozoa) – 128 видов.

Таблица 1.6.1 - Число видов макрозообентоса в море Лаптевых по литературным данным.

Таксон	море в целом	Шельф
Тип Porifera	65	42
Тип Cnidaria	91	50
Класс Gastropoda	143	89
Класс Bivalvia	57	51
Класс Polychaeta	143	125
Тип Arthropoda	416	269
Тип Bryozoa	128	94
Тип Echinodermata	44	37
Тип Chordata (Tunicata)	21	19
Всего	1143	804

Преобладающими группами макрозообентоса в море Лаптевых, обитающими на наиболее распространенных песчаных и илистых грунтах являются двустворчатые моллюски и иглокожие. В районах, прилежащих к устьевым областям крупных рек преобладают двустворчатые моллюски *Portlandia aestuariorum* и *Cyrtodaria kurriana*. Мористее располагаются сообщества с доминированием двустворчатых моллюсков: *Astarte (Tridonta) borealis*, *Astarte (Nicania) montagui*, *Portlandia arctica*, *Leionucula tenuis*. На внешнем шельфе и верхней части континентального склона находится зона сообществ с доминированием офиур *Ophiocten sericeum*, *Ophiacantha bidentata*, *Ophiopleur aborealis*. Севернее на глубинах более 600 м в поселениях бентоса количественно преобладают полихеты из различных семейств, в особенности Maldanidae и Chaetopteridae. В нижней части склона обычны глубоководные арктические виды, такие как голотурии *Kolga*

hyalina, *Elpidia heckeri* и морские ежи *Pourtalesia jeffreysi* (Сиренко, 1998; Смирнов, Смирнов, 2006).

В районах с каменистым грунтом доминируют прикрепленные организмы: асцидии *Rhizomolgula globularis*, гидроиды *Laphoeina maxima*, мшанки *Eucratea loricata*, губки *Suberites domuncula*, *Phakelia cribrosa*, *Haliclona gracilis*; встречаются заросли макрофитов *Phyllophora truncata* и *Laminaria solidungula* (Экосистемы..., 1990; Гуков, 2013).

Гидрологический режим моря влияет на состав и распределение макрозообентоса. Одним из наиболее значимых факторов является распределение летом вод материкового стока и вызванными им изменениями солености в придонном горизонте.

Для моря Лаптевых характерно количественное распределение макрозообентоса, при котором количество видов увеличивается вдоль градиента глубин от берега к бровке шельфа (краю материковой отмели) и в последствии, при продвижении дальше на север, уменьшается, достигая минимальных значений (Petryashov et al., 1999).

Таким образом, численность макрозообентоса в море Лаптевых варьирует очень сильно. Как правило, она выше на песчаных и илистых (мягких) грунтах – от 170 до 2360 экз./м². На твердых (каменистых) грунтах зарегистрирована численность макрозообентоса от 90 до 820 экз./м² (Петряшев и др., 2004).

Биомасса макрозообентоса на большей части шельфа моря Лаптевых, как в южных прибрежных районах, так и на севере моря обычно ниже 50 г/м². По обобщенным данным исследований 1993-1998 гг. относительно высокие биомассы бентоса (>100 г/м²) отмечены в наиболее близких к побережью районах, но в тоже время практически не подвергающихся влиянию вод речного стока. Максимальные значения биомассы бентоса (250-300 г/м²) зарегистрированы на юге Хатангско-Анабарской палеодолины (Петряшев и др., 2004).

По литературным данным распределение макробентоса в море Лаптевых, особенно на мягких грунтах, носит широтный или субширотный характер. Это связано как с геоморфологией дна, так и с распространением в пределах моря вод различного генезиса и их трансформацией. В ходе исследований, проведенных Зоологическим институтом РАН (Экосистемы..., 1990), было показано, что бентосные сообщества моря Лаптевых и их

характеристики зависят от преобладания эстуарно-арктических или собственно арктических водных масс.

Распределение биомассы макрозообентоса в центральной и южной части моря Лаптевых, имеет сходное с видовым богатством распределение и значения биомассы возрастают с юга на север, при увеличении глубины. Распределение биомассы макрозообентоса имеет широтный характер, на основании чего в море Лаптевых ранее были выделены 3 зоны: с биомассой меньше 50 г/кв.м, от 50 до 100 г/кв.м и более 100/кв.м. Первая зона располагается в восточной части моря Лаптевых, где наблюдается сильное речное влияние. Две другие зоны (с биомассами выше 50 г/кв.м) лежат в западной части моря. Севернее во всех трех зонах, показатели биомассы начинают уменьшаться с увеличением глубины до менее чем 25 г/кв.м (Petryashov et al., 1999).

2. Материал и методы

Основой для данной работы послужили 138 дночерпательных проб, полученные на 46 станциях юго-западной части моря Лаптевых (Рисунок 2.1, Приложение А). Из 100 станций отбора проб, собранных в ходе рейса НИС "Дальние Зеленцы" в августе-октябре 2014 г., были выбраны 46, на которых наряду с биологическими материалами были оценены 37 гидрологических и гидрохимических показателей придонной воды, химического состава грунта и гранулометрии донных отложений.

Глубины в районе работ изменялись от 10 до 94 м (Приложение А).

Пробы макрозообентоса отбирали дночерпателем Ван-Вина с площадью пробоотбора 0,1 м² в трехкратной повторности на каждой станции, всего на 46 станциях было отобрано 138 проб.

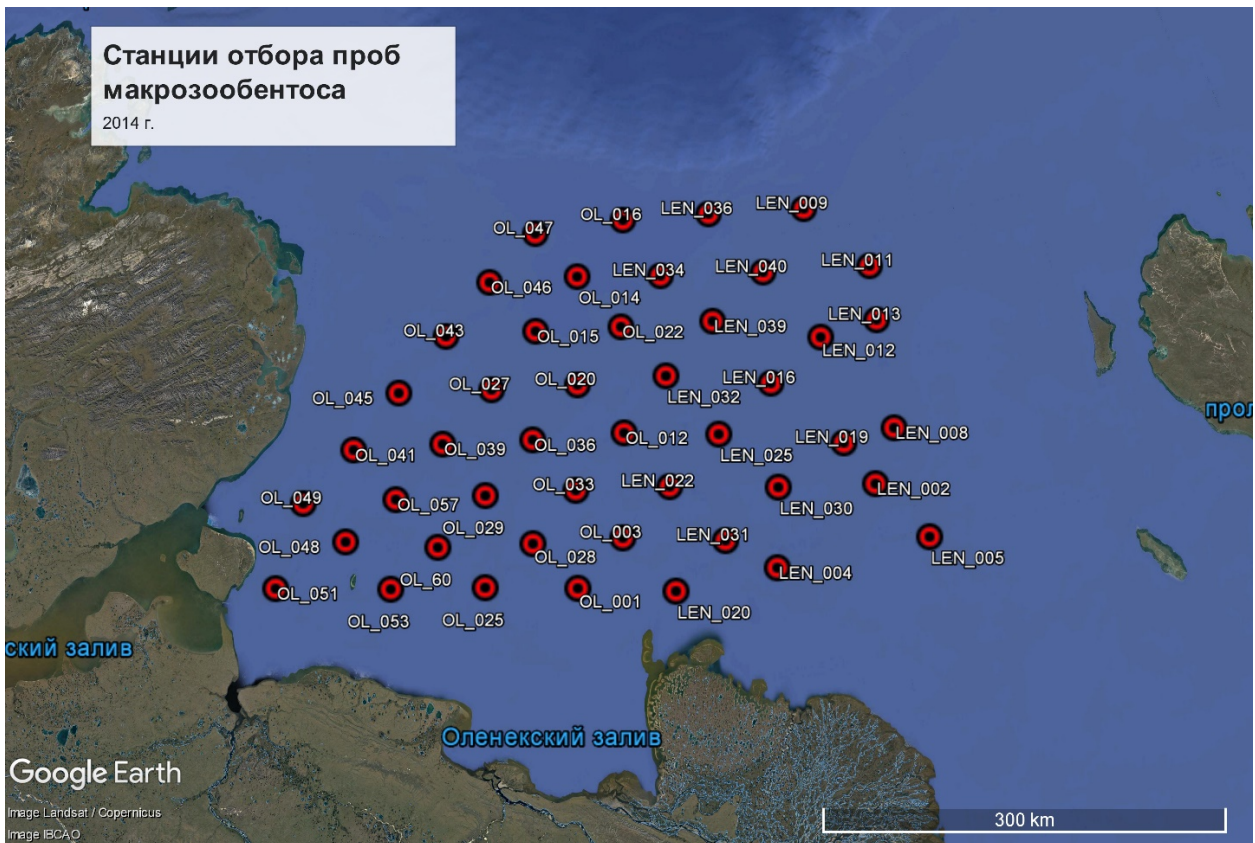


Рисунок 2.1 - Карта района исследований. Красными точками обозначены станции отбора проб, координаты и глубины станций приведены в Приложении А.

Сбор и промывка дночерпательных проб макрозообентоса осуществлены при непосредственном участии научного руководителя работы И.А.Стогова (Рис. 2.2-2.3).

Пробы визуально оценивали на качество, критериями являлись достаточный объем (не менее 2/3 объема дночерпателя) и ненарушенный слой донных отложений с неповрежденным наилком. После этой оценки осуществляли промывку проб морской водой на промывочном станке через сито 0,7 мм. Пробы разбирали на борту и фиксировали 70% раствором этилового спирта. Определение организмов макрозообентоса проведено специалистами лаборатории морских экосистем ЗИН РАН и кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ.



Рисунок 2.2 - Отбор проб дночерпателем Ван-Вина с борта НИС "Дальние Зеленцы", море Лаптевых, сентябрь 2014 г. (фото из архива И.А.Стогова)



Рисунок 2.3 - Промывка дночерпательных проб на борту НИС "Дальние Зеленцы", море Лаптевых, сентябрь 2014 г. (фото из архива И.А.Стогова)

Данные в цифровом виде предоставлены научными консультантами работы доцентом, к.б.н., главным специалистом ЗАО «Экопроект» С.М.Чивилевым и к.б.н., главным специалистом ЗАО «Экопроект» О.А.Кийко, а также руководителем работы доцентом, к.б.н., старшим преподавателем кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ И.А.Стоговым.

Для нанесения координат точек отбора макрозообентоса на карту была использована программа Google Earth Pro 7.1.

Статистическая обработка данных (дисперсионный, корреляционный и кластерный анализы) были проведены с использованием пакета анализа данных Microsoft Office Excel и StatSoft Statistica 10.

При анализе биологических материалов были использованы такие структурные показатели, как альфа-разнообразие (число видов на пробу), индекс структуры сообщества Шеннона-Уивера по численности, общая численность и биомасса макрозообентоса, а также биомасса крупных таксонов донных беспозвоночных, рекомендованные при мониторинге морских экосистем (Погребов, Шилин, 2001; Погребов, 2015).

При дисперсионном анализе данные нормализовали с помощью логарифмирования.

При корреляционном анализе связи физико-химических и биологических показателей использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

При кластерном анализе количественные данные стандартизировали с использованием величины нормированного отклонения t , в качестве меры сходства использовали величину расстояния Евклида и дополнение коэффициента корреляции Пирсона до 1, в качестве алгоритма кластеризации выбран метод Ворда, обеспечивающий минимизацию дисперсий вновь образуемого кластера описаний.

Благодарности

Автор признателен научному руководителю работы И.А.Стогову за помощь при написании работы, советы и консультации, а также научным консультантам работы С.М.Чивилеву и О.А.Кийко за представленные физико-химические и биологические материалы.

3. Результаты и обсуждение

3.1 Гидрологические показатели

По данным, полученным в сентябре 2014 г., средние температуры придонной воды моря Лаптевых были отрицательными и составляли $-0,21^{\circ}\text{C}$ (Таблица 3.1.1). Отрицательные температуры в сентябре характерны для моря Лаптевых. Большую часть года наблюдаются отрицательные температуры воздуха, а температура воды в близка к точке замерзания, вследствие того, что море Лаптевых лежит в удалении от Атлантического и Тихого океанов, в близи полярных льдов и находится под влиянием Сибирского антициклона.

Таблица 3.1.1 - Средние, максимальные и минимальные значения температуры и солености воды на поверхности и у дна по многолетним данным и полученные в результате океанографического зондирования на НИС "Дальние Зеленцы" в сентябре 2014 г.

Показатель	Горизонт	Среднемноголетние, Сентябрь (WOA13)			Сентябрь 2014 г.		
		Среднее	Макс.	Мин.	Среднее	Макс.	Мин.
Температура, $^{\circ}\text{C}$	Поверхность	1,45	2,63	0,31	2,68	6,17	1,46
	Дно	-1,25	1,48	-1,71	-0,21	3,15	-1,80
Соленость, ‰	Поверхность	24,02	28,40	18,62	30,24	32,69	26,34
	Дно	32,75	34,29	26,41	33,43	34,77	28,84

По данным океанографического зондирования в юго-западной части моря Лаптевых в сентябре 2014 г. средняя соленость воды повышалась от 30,24‰ в поверхностном слое до 33,43‰ в придонном слое воды. По литературным данным соленость в море Лаптевых варьирует в пределах от 1 до 34‰. При этом на глубине от 50 до 300 м характерна соленость от 29‰ до 33-34‰, что соответствует данным, полученным в 2014 г.

В сентябре 2014 г. концентрации растворенного кислорода были несколько ниже среднемноголетних, при этом, абсолютные концентрации растворенного кислорода в придонном слое были существенно меньше, чем на поверхности (Таблица 3.1.2), а относительные концентрации кислорода в среднем для придонного слоя составили 87,59%

насыщения. Минимальные величины, по нашим данным, составили 73% насыщения. Таким образом, наши материалы соответствуют имеющимся в литературе сведениям о выраженном дефиците кислорода в придонных водах моря Лаптевых.

Таблица 3.1.2 - Средние значения, стандартные отклонения, максимальные и минимальные значения концентраций растворенного кислорода на поверхности и у дна по многолетним данным и полученные в результате океанографического зондирования в сентябре 2014 г.

Горизонт	Среднемноголетнее, сентябрь (WOA13)			Сентябрь 2014 г.		
	Среднее	Макс.	Мин.	Среднее	Макс.	Мин.
Концентрации растворенного кислорода (мг/л)						
Поверхностный	12,475	13,08	12,21	10,55	11,07	10,04
Придонный	10,285	11,97	9,43	10,24	10,98	8,82
Относительные величины концентраций растворенного кислорода (%)						
Поверхностный	100,49	102,47	99,16	95,14	99,32	91,07
Придонный	85,515	99,08	78,81	87,59	94,51	73

3.2 Гранулометрический состав грунта

Донные грунты, являясь субстратом, на котором и в котором обитают организмы бентоса, играют важную роль в распределении донных организмов, определяя трофическую структуру сообществ и видовой состав донной биоты.

Содержание гранулометрических фракций, %										
>10	10-5	5-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	<0.005
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
0,34	0,05	0,03	0,08	0,28	1,78	35,54	56,45	2,44	1,41	1,59

Таблица 3.2.1 - Среднее содержание гранулометрических фракций донных отложений (%)

Согласно гранулометрической классификацией ВНИИ Океангеология (Методические..., 1986) донные отложения на значительном количестве станций относятся к моногранулярным - алевритовым осадкам (Таблица 3.2.1). Превалировали алевриты с частицами 0,05-0,1 мм и мелкие пески с размером частиц 0,1-0,25 мм. Более тонкие (пелитовые) осадки развиты ограничено. Обычны бигранулярные отложения – алевритовые пески и песчаные алевриты.

3.3 Макрозообентос моря Лаптевых

Гидробиологические исследования моря Лаптевых, начатые экспедицией А.Э.Норденшельда на судне «Вега» в 1878 г, продолжают с перерывами уже более 130 лет. Наиболее подробно в отношении количественного распределения гидробионтов были исследованы прибрежные районы юго-восточной части моря от дельты реки Лены до Новосибирского мелководья (Петряшев и др., 1994). Остальные участки моря, особенно северные, постоянно закрытые льдами, либо слабо изучены, либо вовсе не исследованы.

3.3.1 Видовой состав

Как уже было отмечено, по современным данным в море Лаптевых обитает 1472 вида свободноживущих беспозвоночных, причем представители макрозообентоса составляют около 60% от общего числа видов (List of species..., 2001). В море Лаптевых насчитывается 1143 вида макрозообентоса, при этом 804 вида обитают на шельфе (Виноградова, 1990; Петряшев и др., 2004).

Наибольшее число видов относятся к типам Arthropoda – 416 видов (из которых 263 вида составляют бокоплав Amphipoda), Mollusca – 209 видов (из которых 143 вида составляют брюхоногие моллюски - Gastropoda), Annelida – 145 видов (из которых 143 вида составляют многощетинковые черви Polyhaeta) и Bryozoa – 128 видов (Таблица 3.3.1.1).

По данным полевых исследований, проведенных в сентябре 2014г., в составе макрозообентоса юго-западной части моря Лаптевых отмечено лишь 398-13 таксонов беспозвоночных различного ранга. Из них представители Типа Cnidaria (Coelenterata) насчитывали 20 видов, Cephalorhyncha (Класс Priapulida) – 1, Annelida – 114 (из которых 113 видов относились к Классу Polychaeta), Echiura – 1, Sipuncula – 6, Arthropoda – 104 (из

которых Pysnognonida насчитывали 4 и Crustacea - 100 видов), Mollusca – 73 (из которых Gastropoda насчитывали 33 и Bivalvia - 39 вида), Brachiopoda – 1, Bryozoa - 33, Echinodermata – 22, Entoprocta - 1, Chordata (Класс Ascidiacea) – 5 видов. Отмечены также представители типов Porifera и Nemertea (Таблица 3.3.1.1).

Относительная бедность видовых списков района работ 2014 г., по сравнению с обобщенными данными для моря Лаптевых, по всей видимости, определена географией района работ - пробы отбирали в наиболее мелководной и распресненной юго-западной части моря Лаптевых.

По числу видов преобладали многощетинковые черви (Polychaeta), составляющие 29% от общего числа видов, и ракообразные (Crustacea) – 26% (Рисунок 3.3.1.1). Суммарно на долю этих таксонов по нашим данным приходилось 55%, а по литературным данным - 49% общего числа видов.

Таблица 3.3.1.1- Число видов макрозообентоса в море Лаптевых по литературным данным (Виноградова, 1990; Петряшев и др., 2004) и материалам 2014 г.

Таксон	Наши данные		Шельф моря Лаптевых	
	Число видов	%	Число видов	%
Porifera	2	0,5	42	5,2
Cnidaria	20	5	50	6,2
Gastropoda	33	8,3	89	11,1
Bivalvia	39	9,8	51	6,3
Polychaeta	113	29,4	125	15,5
Arthropoda	104	27	269	33,5
Bryozoa	33	8,6	94	11,7
Echinodermata	22	5,7	37	4,6
Chordata (Tunicata)	5	1,3	19	2,4
Макрозообентос	385		804	



Рисунок 3.3.1.1 - Процент вклада таксономических групп в общее число видов по данным 2014 г.

По данным 2014 г. по частоте встречаемости преобладали многощетинковые черви - *Cirratulidae g. sp.* (92%), *Maldane sarsi* (75%), *Scoletoma fragilis* (71%), двустворчатые моллюски *Ennucula tenuis* (75%) и офиуры *Ophiocten sericeum* (75%).

3.3.2 Показатели обилия макрозообентоса

Суммарная численность макрозообентоса в 2014 г. изменялась в пределах: от 277 до 2367 экз./м², составляя в среднем по участку 951 экз./м². Биомасса макрозообентоса исследуемого района варьировала от 22,74 до 276,81 г/м², составляя в среднем 88,56 г/м². По численности преобладали двустворчатые моллюски, полихеты и ракообразные, по биомассе - двустворчатые моллюски, иглокожие и полихеты (Таблица 3.3.2.1).

В целом полученные значения соответствуют среднееголетним характеристикам биомассы соответствующего района моря Лаптевых. Необходимо также учитывать, что количественные характеристики бентоса могут иметь выраженные многолетние колебания, связанные как с климатическими изменениями, так и с популяционной динамикой видов.

Таблица 3.3.2.1 - Минимальные, максимальные и средние показатели обилия макрозообентоса моря Лаптевых в августе-сентябре 2014 г.

Таксон	Численность, экз./м ²		Биомасса, г/м ²	
	min-max	Среднее	min-max	среднее
Cnidaria	0-60	4,0±1,70	0-9,38	0,41±0,263
Polychaeta	67-837	331±45,3	1,04-72,01	12,93±2,412

Sipuncula	0-53	6,2±1,72	0-19,86	1,60±0,571
Crustacea	17-933	132±29,5	0,09-48,62	7,30±1,581
Gastropoda	0-33	5,6±1,16	0-11,75	0,95±0,360
Bivalvia	20-1240	377±50,8	0,89-199,45	48,24±7,407
Bryozoa	0-30	2,3±0,97	0-4,33	0,16±0,112
Echinodermata	7-307	82±12,5	0,38-59,86	16,27±1,955
Ascidiacea	0-7	0,6±0,26	0-0,54	0,02±0,014
Остальные таксоны	0-230	10,7±5,72	0-9,35	0,69±0,266
Общая	277-2367	951±83,2	22,74-276,81	88,56±9,115

По литературным данным численность макрозообентоса в море Лаптевых варьирует очень сильно. Как правило, она выше на песчаных и илистых (мягких) грунтах – от 170 до 2360 экз./м². На твердых (каменистых) грунтах зарегистрирована численность макрозообентоса от 90 до 820 экз./м² (Петряшев и др., 2004).

Биомасса макрозообентоса на большей части шельфа моря Лаптевых, как в южных прибрежных районах, так и на севере моря обычно ниже 50 г/м². По данным исследований 1993-1998 гг. относительно высокие биомассы бентоса (>100 г/м²) отмечены в наиболее близких к побережью районах, но в тоже время практически не подвергающихся влиянию вод речного стока. Максимальные значения биомассы бентоса зарегистрированы на юге Хатангско-Анабарской палеодолины (250-300 г/м²).

По обобщенным данным многолетних наблюдений (Петряшев и др., 2004; Гуков, 2013) непосредственно в районе работ 2014 г. были отмечены сообщества с доминированием двустворчатых моллюсков *Leionucula tenuis* (по существующей классификации *Ennucula tenuis*), *Astarte (Tridonta) borealis*, *Astarte (Nicania) montagui*, *Portlandia arctica*, *Macoma calcarea*, голотурий *Ocnus glacialis*, офиур *Ophiocten sericeum* и полихет *Maldane sarsi*.



Рисунок 3.3.2.1 - Таксоны, доминирующие по численности в юго-западном районе моря Лаптевых в 2014 г.

По численности в сентябре 2014 г. преобладали многощетинковые черви, составляя в среднем 36%, ракообразные - 19%, и двустворчатые моллюски – 19% от общей численности (Рисунок 3.3.2.1). Наибольшей численности достигали двустворчатые моллюски *E.tenuis* и *P.arctica*, а также полихеты *M.sarsi* и *Cirratulidae g.sp.*

Таблица 3.3.2.2 - Донные беспозвоночные, входящие в число доминантов по биомассе на 2 и более станциях юго-западной части моря Лаптевых в 2014 г.

Таксон	Вид	Количество Станций
Bivalvia	<i>Astarte borealis</i>	9
	<i>Macoma calcarea</i>	9
	<i>Portlandia arctica</i>	8
	<i>Ennucula tenuis</i>	7
	<i>Musculus niger</i>	5
	<i>Nuculana pernula</i>	5
	<i>Ciliatocardium ciliatum</i>	4
	<i>Serripes groenlandicus</i>	4
	<i>Astarte crenata</i>	3
	<i>Astarte montagui</i>	3
	<i>Bathyarca glacialis</i>	3

	<i>Yoldiella lenticula</i>	3
	<i>Yoldia hyperborea</i>	2
Polychaeta	<i>Maldane sarsi</i>	7
	<i>Myriochele heeri</i>	3
Ophiuroidea	<i>Ophiocten sericeum</i>	9
	<i>Ophiura sarsii</i>	7
	<i>Stegophiura nodosa</i>	3
Sipuncula	<i>Golfingia margaritacea</i>	4
Isopoda	<i>Saduria sabini</i>	2

В число форм, доминирующих по биомассе на 2 и более (до 9) станциях исследованной юго-западной части моря Лаптевых, по данным 2014 г. вошли 13 видов двустворчатых моллюсков, 2 вида полихет, 3 вида офиур (Таблица 3.3.2.2), причем наиболее часто (на 7-9 станциях) в число доминирующих форм входили двустворки *A.borealis*, *M.calcarea*, *P.arctica*, *E.tenuis*, офиуры *Ophiura sarsii*, *O.sericeum*, многощетинковые черви *M.sarsi*.

Основную биомассу по данным 2014 г. создавали представители двустворчатых моллюсков *M.calcarea*, *E.tenuis*, *P.arctica*, *A.borealis*, голотурии *Myriotrochus rinkii*, офиуры *Ophiura sarsii* и *O.sericeum*, а также многощетинковые черви *M.sarsi* и *Myriochele heeri* и равноногие ракообразные *Saduria sabini*. Наиболее часто на отдельных станциях доминировали двустворчатые моллюски, которые создавали в среднем 60% от суммарной биомассы бентоса, второстепенную роль играли иглокожие (в среднем 15%) и многощетинковые черви (в среднем 14%) (Рисунок 3.3.2.2).



Рисунок 3.3.2.2 - Таксоны, доминирующие по биомассе в юго-западном районе моря Лаптевых в 2014 г.

Все вышеперечисленные виды были отмечены также и в предыдущих исследованиях в качестве широко распространенных видов, играющих значительную роль в численности и биомассе бентоса (Петряшев и др., 2004; Гуков, 2013).

По литературным данным распределение макробентоса в море Лаптевых, особенно на мягких грунтах, носит широтный или субширотный характер. Это связано как с геоморфологией дна, так и с распространением в пределах моря вод различного генезиса и их трансформацией. В ходе исследований, проведенных Зоологическим институтом РАН (Экосистемы..., 1990) было показано, что бентосные сообщества моря Лаптевых и их характеристики зависят от преобладания эстуарно-арктических или собственно арктических водных масс.

Результаты кластерного анализа, проведенные на основании биомасс основных таксономических групп макрозообентоса моря Лаптевых в 2014 г., позволили выделить группы донных беспозвоночных, дающие наибольший вклад в общую биомассу зообентоса. На дендрограмме сходства таксонов по биомассе хорошо различимы 2 кластера, причем левый кластер формируют формы дающие наибольший вклад о биомассу донных беспозвоночных, а наиболее значима роль двустворчатых моллюсков, полихет и офиуроидей (Рисунок 3.3.2.3).

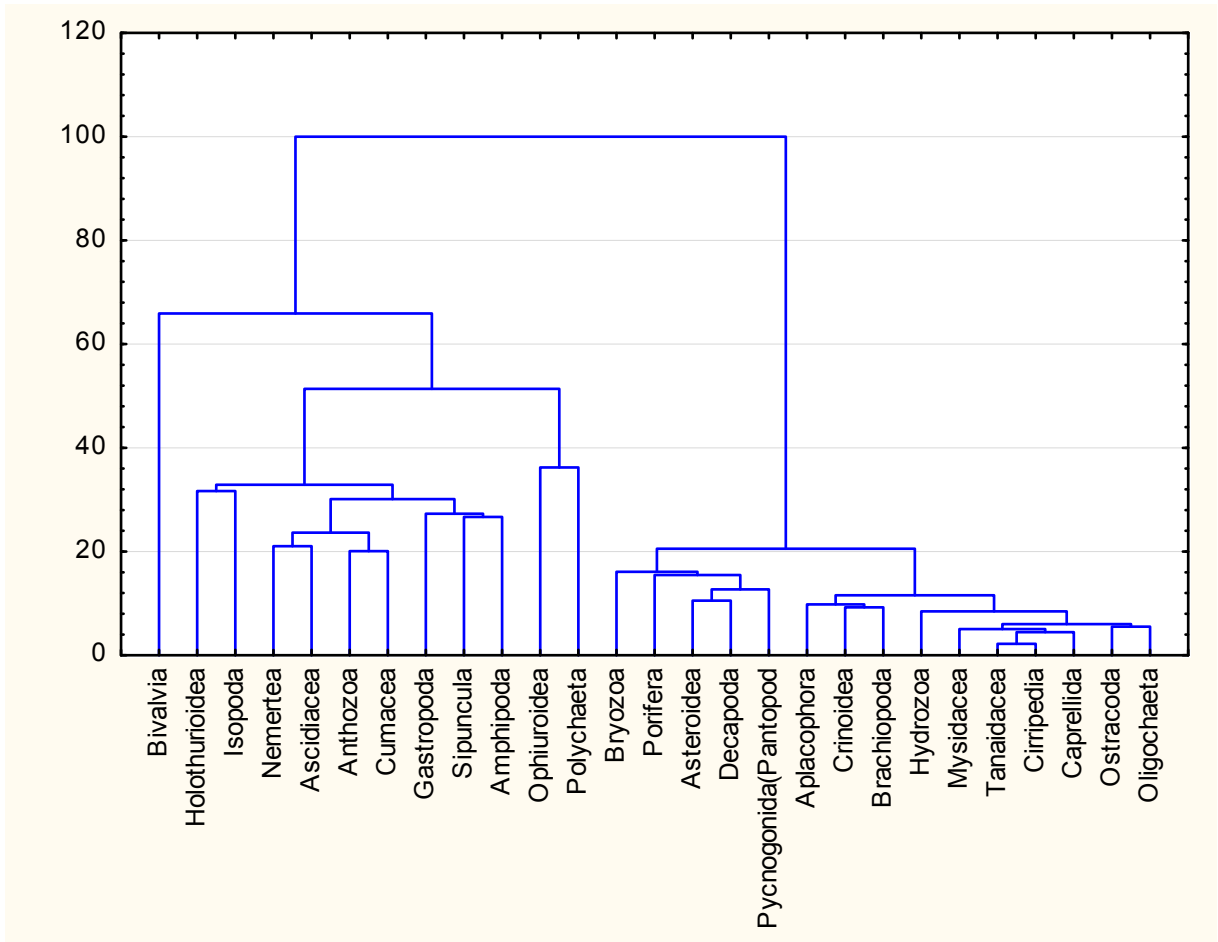


Рисунок 3.3.2.3 - Дендрограмма сходства основных групп макрозообентоса по мере их вклада в общую биомассу. По оси ординат - расстояние в процентах от максимального.

Мера сходства - расстояние Евклида, данные стандартизованы по формуле нормированного отклонения t , алгоритм кластеризации - метод Ворда.

Правый кластер сформирован организмами, играющими менее существенную роль в формировании общей биомассы макрозообентоса.

Дендрограмма сходства станций по биомассе основных таксонов показывает уверенное разделение массива описаний на 2 кластера (А и В) (Рисунок 3.3.2.4). При этом наибольшую роль в создании общей биомассы в обоих кластерах играют представители 3 таксономических групп: Bivalvia, Polychaeta и Ophiuroidea (табл. 3.3.2.2).

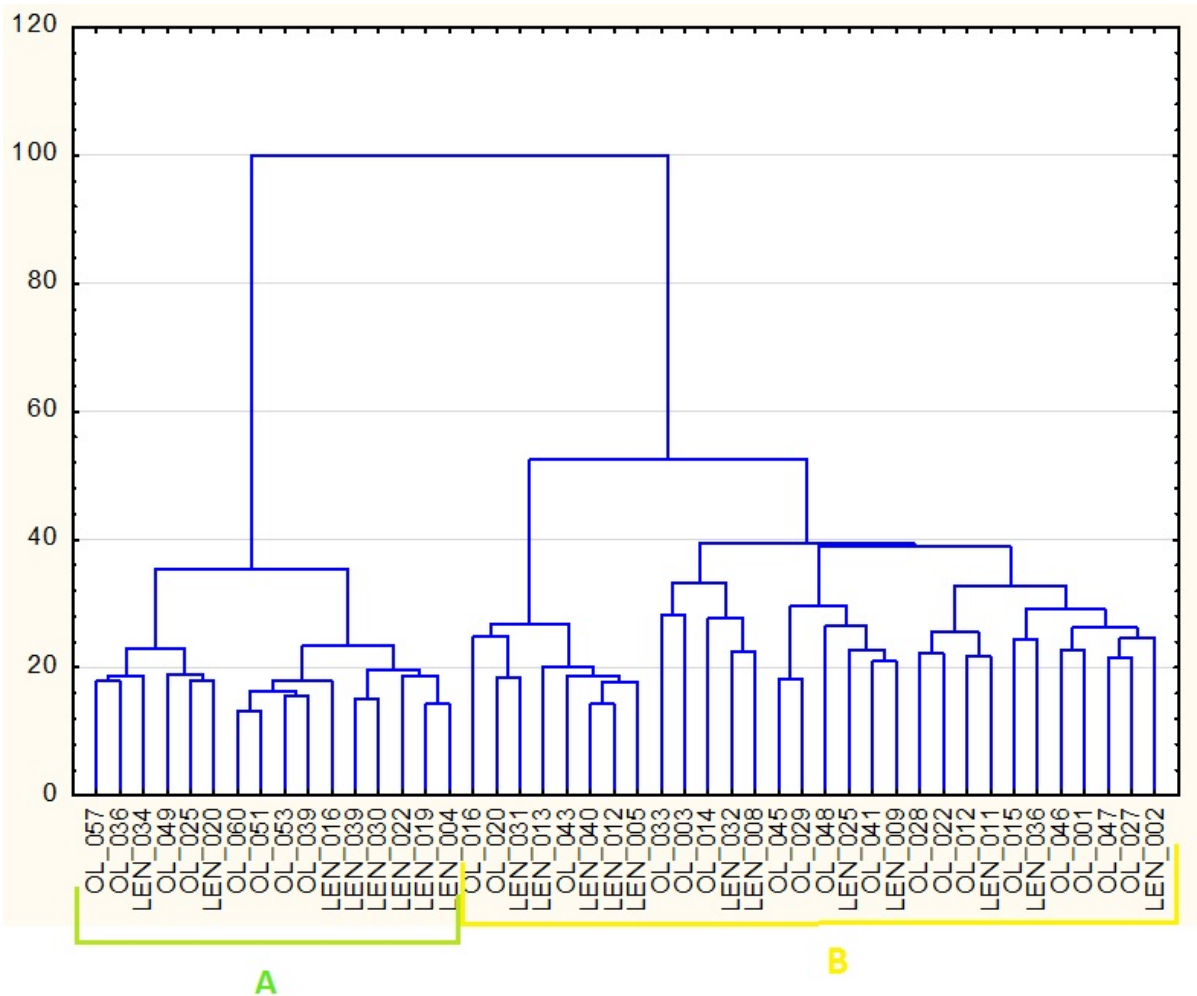


Рисунок 3.3.2.4 - Дендрограмма сходства станций по биомассе основных таксонов макрозообентоса. По оси ординат - расстояние в процентах от максимального. Мера сходства - расстояние Евклида, данные стандартизированы по формуле нормированного отклонения t , алгоритм кластеризации - метод Ворда.

Таблица 3.3.2.2 - Биомассы основных таксонов, дающих наибольший вклад в общую биомассу макрозообентоса в 2014 г.

Биомасса, г/ кв.м	Кластер А	Кластер В
Bivalvia	107,8+21,8	39,2+7,1
Polychaeta	9,0+2,8	16,9+3,7
Orphiuroidea	6,7+1,6	14,3+2,2
Общая	135,7+27,2	87,5+11,1

При этом в кластере А преобладают двустворчатые моллюски *Portlandia arctica*, имеющие 100% встречаемость и создающие в среднем более 45% суммарной биомассы бентоса. Наряду с *P.arctica* максимальную частоту встречаемости (100%) имеют двустворчатые моллюски *Ennucula tenuis*, *Parathyasira equalis* и полихеты семейства Cirratulidae.

Для кластера В, с меньшими биомассами моллюсков (Рисунок 3.3.2.4, Таблица 3.3.2.2), более характерны двустворчатые моллюски *Astarte borealis* (14% от суммарной биомассы бентоса), *Macoma calcarea* (14%) и полихет *Maldane sarsi* (10%).

Несмотря на четкое распределение станций на две группы по величинам биомасс крупных таксонов, на территории исследованной акватории они распределены мозаично (Рисунок 3.3.2.5), причем экологическая интерпретация этой мозаичности затруднена.



Рисунок 3.3.2.5 - Схема распределения станций по биомассе основных таксонов макрозообентоса на акватории юго-западной части моря Лаптевых в 2014 г.

Преобладание двустворчатых моллюсков и полихет отмечалось в юго-западной мелководной части моря Лаптевых и ранее (Петряшев и др., 2004; Атлас..., 2011; Гуков, 2013). Помимо этого, доминирование двустворчатых моллюсков *P.arctica* на глубинах свыше 30 м было отмечено и в восточной части моря Лаптевых (Steffens, 2006).

Дендрограмма сходства станций по комплексу физико-химических характеристик придонной воды и донных отложений, а также обобщенных структурных показателей макрозообентоса (общая численность, общая биомасса, число видов и индекс Шеннона-Уивера по численности), рекомендованных при мониторинге морских экосистем (Погребов, Шилин, 2001) также показывает уверенное разделение массива описаний на 2 кластера (Рисунок 3.3.2.6).

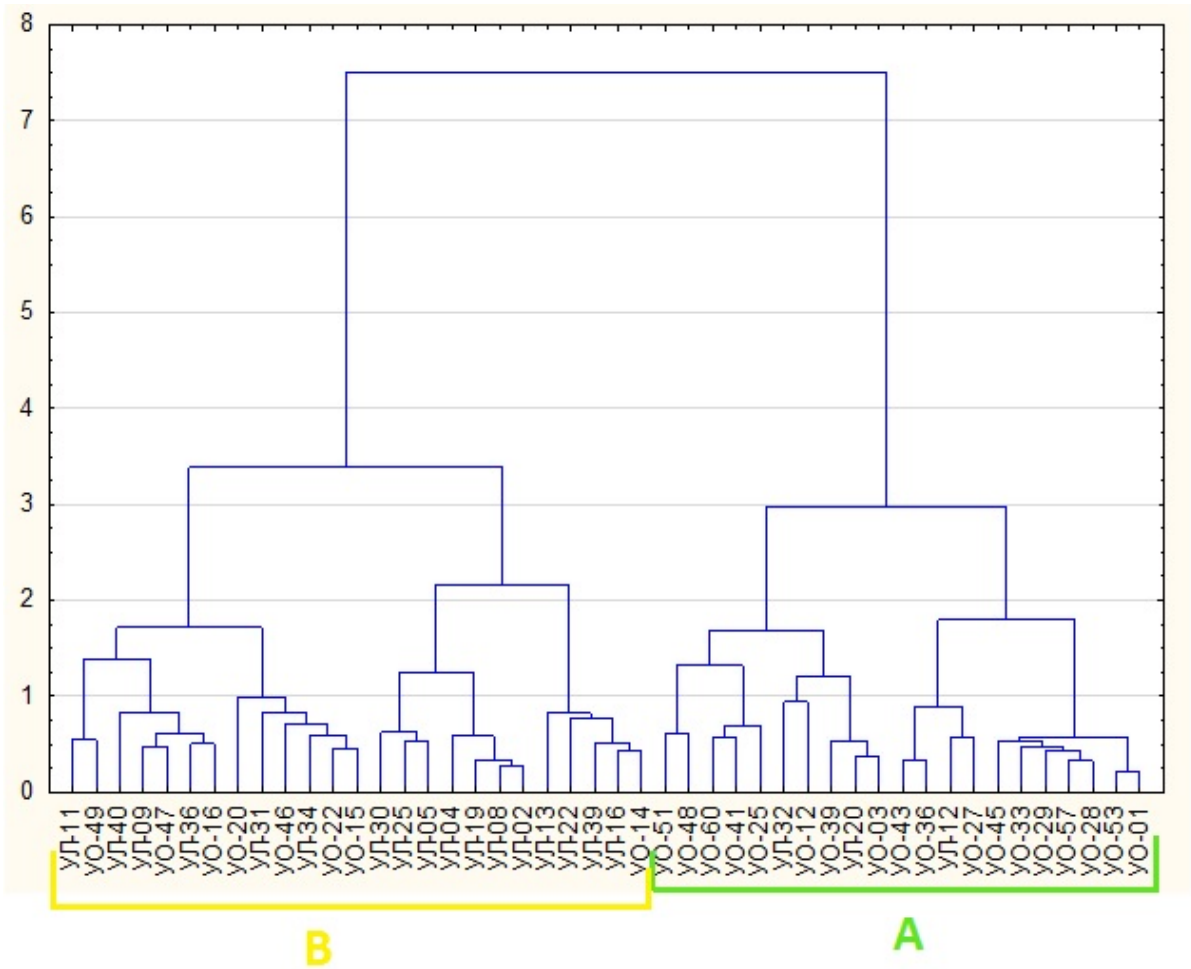


Рисунок 3.3.2.6 - Дендрограмма сходства станций по физико-химическим характеристикам воды и донных отложений и обобщенных структурных показателей макрозообентоса (общая численность, общая биомасса, число видов и индекс Шеннона-Уивера по численности). По оси ординат - относительное расстояние. Мера сходства - дополнение коэффициента корреляции до единицы, данные стандартизированы по формуле нормированного отклонения t , алгоритм кластеризации - метод Ворда.

Кластер А (Рисунок 3.3.2.6, Таблица 3.3.2.3) объединяет мелководные (со средней глубиной 27 м) и тепловодные станции (с температурой $+1,29^{\circ}\text{C}$) с большим таксономическим разнообразием (45 таксонов), общей численностью (1310 экз./кв.м) и биомассой (125 г/кв.м) макрозообентоса. Помимо этого, между кластерами достоверны различия в концентрации нитратного иона и гранулометрии донных отложений - алевритов и мелких песков.

Таблица 3.3.2.3 - Физико-химические и биологические показатели, достоверно различающиеся в двух группах описаний на рисунке 3.3.2.6.

Показатели	Кластер А	Кластер В
Глубина, м	27,0±2,5	52,9±3,3
Температура, °С	+1,29±0,37	-1,46±0,14
Соленость, ‰	32,4±0,4	34,3±0,1
NO ₃ , мкг/л	8,1±1,1	24,9±3,5
Фракция грунта 0,1-0,25 мм, %	55±8	19±6
Фракция грунта 0,05-0,1 мм, %	39±7	71±5
Количество видов	45±5	30±3
Общая численность, экз./кв.м	1310±340	990±110
Общая биомасса, г/кв.м	125±22	87±11

В этом случае, распределение основной массы станций (за исключением 2 станций - станции УО-49 кластера В и станции УЛ-12 кластера А, Рисунок 3.3.2.7, Рисунок 3.3.2.8) имеет выраженный зональный характер.

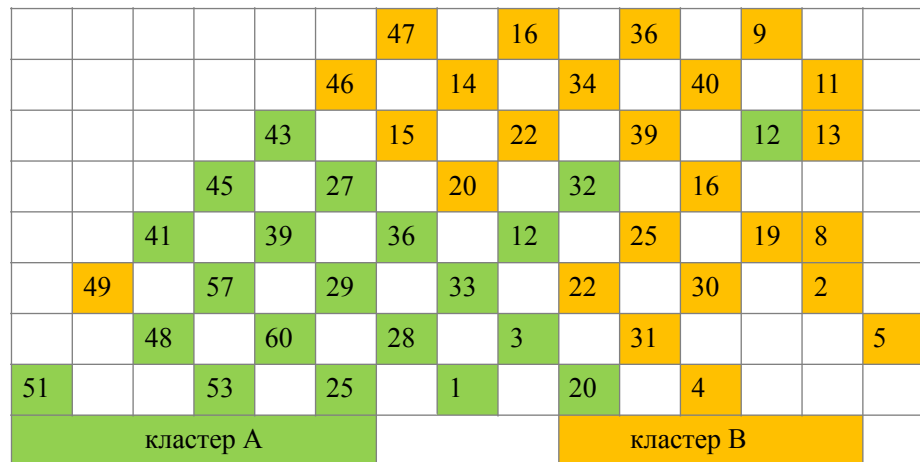


Рисунок 3.3.2.7 - Схема расположения станций, сходных по физико-химическим характеристикам придонной воды и донных отложений и обобщенным структурным показателям макрозообентоса, на акватории юго-западной части моря Лаптевых в 2014 г.

Кластер А объединяет станции, в наибольшей степени подверженные влиянию стока реки Хатанги, однако в отличие от общепринятых представлений об обедняющем воздействии речного стока на морской зообентос (Петряшев и др., 2004), именно здесь по данным 2014 г. отмечены более разнообразные и обильные зообентосные сообщества со средней численностью 1310 экз./кв.м. и биомассой 125 г/кв.м.

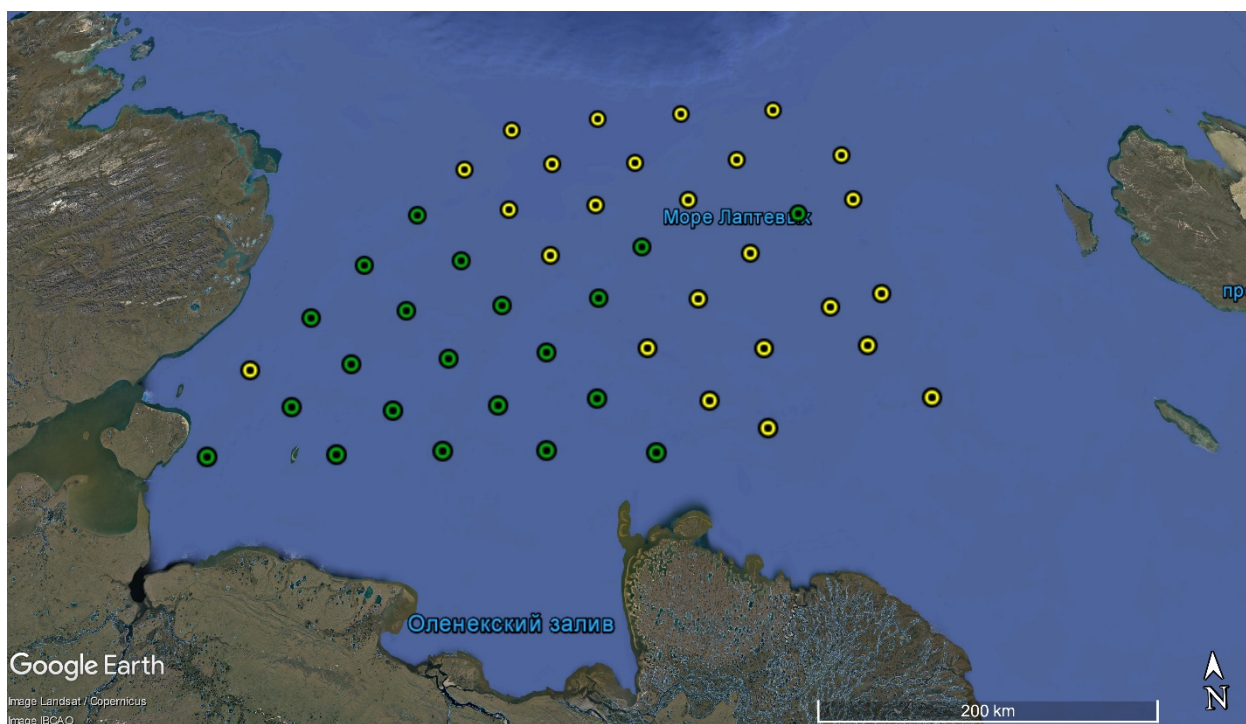


Рисунок 3.3.2.8 - Карта расположения станций, сходных по физико-химическим характеристикам придонной воды и донных отложений и обобщенным структурным показателям макрозообентоса, на акватории юго-западной части моря Лаптевых в 2014 г.

Зелеными точками выделены станции кластера А, желтыми – кластера В.

3.3.3 Анализ сопряженности физико-химических и биологических показателей

Анализ сопряженности физико-химических показателей придонной воды и донных отложений, а также структурных показателей макрозообентоса приведен на дендрограмме (Рисунок 3.3.3.1). В качестве меры сходства взято дополнение коэффициента корреляции Пирсона до единицы, алгоритм кластеризации Ворда, данные трансформированы.

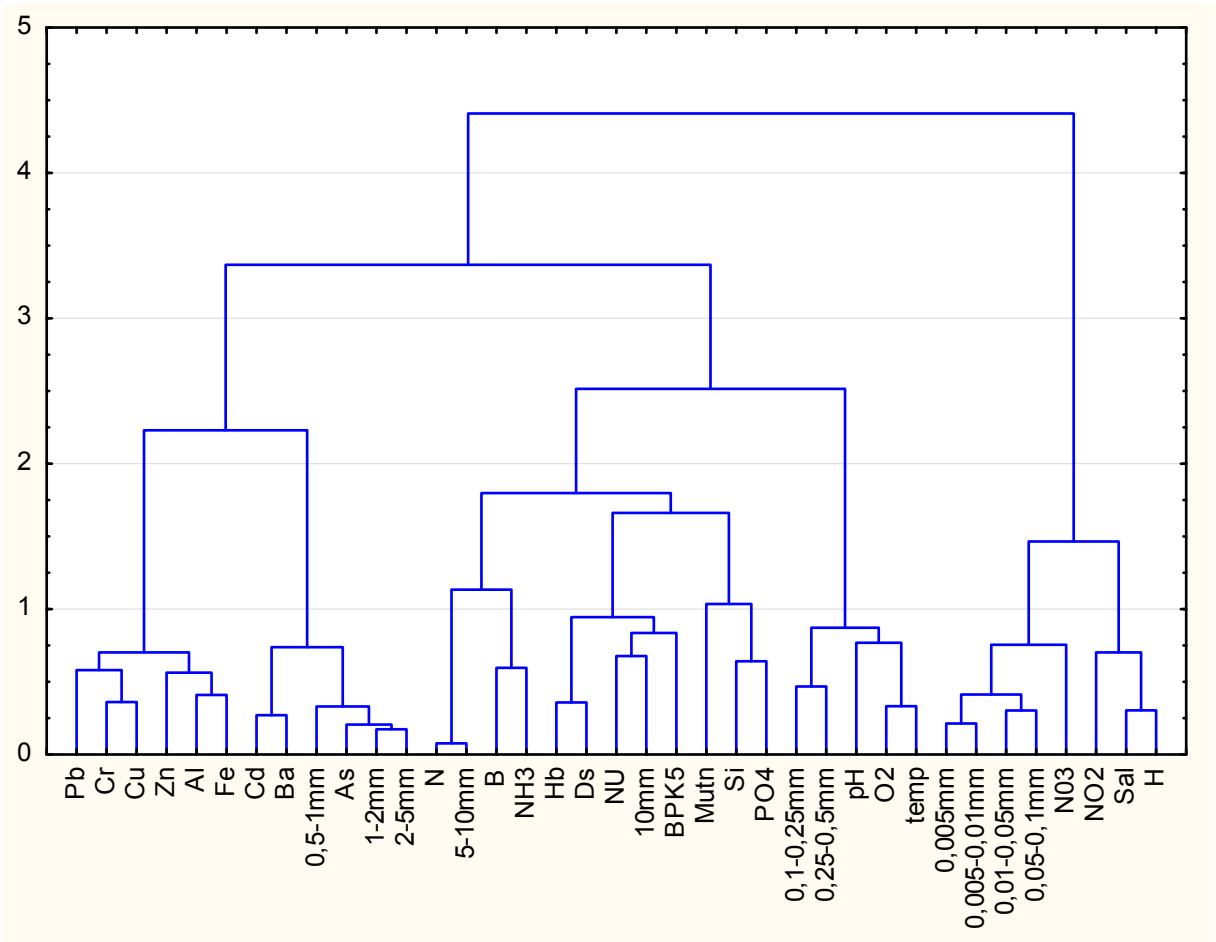


Рисунок 3.3.3.1 - Дендрограмма сходства физико-химических показателей придонной воды и донных отложений и обобщенных структурных показателей макрозообентоса. По оси ординат - относительное расстояние. Мера сходства - дополнение коэффициента корреляции до единицы, данные стандартизированы по формуле нормированного отклонения t , алгоритм кластеризации - метод Ворда.

На дендрограмме хорошо обособляются 3 кластера. Правый кластер описаний формируют положительно коррелированные показатели глубины, солености и мелких фракций грунта (пелитов и алевроитов), а силу связи характеризуют достоверные коэффициенты ранговой корреляции Спирмена, представленные в Таблице 3.3.3.1.

Таблица 3.3.3.1- Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (N=46, $p < 0.05$) глубины с соленостью и мелкими гранулометрическими фракциями грунта.

Показатели	Глубина
Соленость	+0,79
Фракция грунта 0,05-0,1mm	+0,39
Фракция грунта 0,01-0,05 mm	+0,51
Фракция грунта 0,005-0,01 mm	+0,62
Фракция грунта 0,005 mm	+0,60

В средний кластер дендрограммы (Рисунок 3.3.3.1) входят обобщенные структурные показатели макрозообентоса (количество видов, индекс Шеннона по численности, общая численность и биомасса), положительно коррелированные с такими показателями придонной воды, как температура, рН, концентрация растворенного кислорода и аммонийного иона (Таблица 3.3.3.2). Кроме вышеперечисленных показателей, в этом кластере находится целый ряд других характеристик, таких как процент крупных фракций грунта, БПК5 и концентрация фосфатов, однако коэффициенты ранговой корреляции Спирмена в этих случаях были недостоверно отличны от 0.

Таблица 3.3.3.2 - Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена биологических и гидрологических показателей, объединенных в среднем кластере дендрограммы (Рисунок 3.3.3.1)

Показатели	Температура воды у дна	Концентрация кислорода у дна	рН воды у дна	NH ₄ ⁺
Количество видов зообентоса	+0,36	+0,43	+0,40	Н.д.
Индекс Шеннона по численности	Н.д.	Н.д.	+0,40	Н.д.
Общая биомасса зообентоса	Н.д.	Н.д.	Н.д.	+0,44

* Н.д. – не достоверны.

При этом отрицательная корреляция некоторых описаний правого и центрального кластера вполне тривиальна и не требует дополнительных объяснений, так, значение достоверного коэффициента ранговой корреляции Спирмена глубины и температуры воды

у дна составило $R_s = -0,87$, а связь глубины и процента насыщения придонной воды кислородом $R_s = -0,57$.

В левый кластер вошли показатели концентраций большинства металлов и крупных фракций донных отложений, для которых связь со структурными показателями зообентоса не доказана.

3.3.4 Экологическая характеристика массовых видов

Распределение видов макрозообентоса определяется абиотическими факторами, такими как соленость, глубина, температура. Тип грунта и источник питания организмов также являются значимыми в распределении макрозообентоса по площади морского дна. Организмы расселяются и преобладают на подходящих для них грунтах. Так, мягкие илистые грунты подходят для зарывающихся организмов, а большое наличие органического вещества в илистом грунте делает его благоприятным для обитания организмов детритофагов. Твердые каменистые виды грунта являются подходящим субстратом для обрастающих, прикрепляющихся организмов, а также для бродячих. Илисто песчаный грунт, соединяющий в себе характеристики мягких и твердых грунтов, является субстратом, подходящим для наибольшего диапазона организмов с различным образом жизни – от бродячих до зарывающихся.

Таким образом, для характеристики видов, доминирующих по биомассе на станциях в районе исследования в 2014 г., на основании литературных данных (Иллюстрированный атлас..., 2006; Fossilworks [Электронный ресурс]; Marine bivalve shells... [Электронный ресурс]; Экосистемы..., 1990; World register... [Электронный ресурс]; Arctic Ocean Biodiversity [Электронный ресурс]) была составлена таблица 3.3.4.1.

Большинство массовых моллюсков являются зарывющимися видами фильтраторами, предпочитающими заиленный грунт. Среди двустворчатых моллюсков встречаются как сестонофаги (9 видов, включающих *Astarte borealis*, *Musculus niger*, *Ciliatocardium ciliatum*, *Serripes groenlandicus*, *Astarte crenata*, *Astarte montagui*, *Bathyarca glacialis*, *Yoldiella lenticula*, *Yoldia hyperborea*), так и собирающие (2 вида - *Ennucula tenuis* и *Portlandia arctica*).

До глубин 30 м массово распространены такие виды двустворчатых моллюсков, как *Serripes groenlandicus*, *Astarte crenata*, *Musculus niger* и *Yoldia hyperborea*.

	Вид	Предпочитаемый тип грунта	Функциональная группа	Глубины, м	Температуры, °С
Bivalvia	<i>Astarte borealis</i>	илисто-песчаный, илисто-гравийный	сестонофаг	19-47	-1,654 3,146
	<i>Macoma calcarea</i>	илистый	сестонофаг, детритофаг	15-58	-1,739 3,146
	<i>Portlandia arctica</i>	илистый	детритофаг	19-75	-1,804 -1,296
	<i>Ennucula tenuis</i>	илистый, илисто-песчаный, иногда с присутствием гравия или камней	детритофаг	22-94	-1,773 -1,352
	<i>Musculus niger</i>	илисто-песчаный	сестонофаг	19-31	-1,352 3,146
	<i>Nuculana pernula</i>	илисто-песчаный	сестонофаг, детритофаг	46-64	-1,738 2,405
	<i>Ciliatocardium ciliatum</i>	илистый	сестонофаг	15-46	-1,738 2,659
	<i>Serripes groenlandicus</i>	илистый, илисто-песчаный	сестонофаг	10-18	2,149 2,763
	<i>Astarte crenata</i>	илисто-песчаный	сестонофаг	10-36	-0,001 2,763
	<i>Astarte montagui</i>	илисто-песчаный, илисто-гравийный	сестонофаг	23-47	-1,623 1,042
	<i>Bathyrca glacialis</i>	илистый	сестонофаг	36-58	-1,66 -0,677
	<i>Yoldiella lenticula</i>	илистый	сестонофаг	53-94	-1,773 -1,667
	<i>Yoldia hyperborea</i>	илистый	сестонофаг	20-21	2,071 2,405
Polychaeta	<i>Maldane sarsi</i>	илистый, илисто-песчаный, иногда с присутствием гравия	детритофаг	41-59	-1,739 -1,516
	<i>Myriochele heeri</i>	илистый, илисто-песчаный	сестонофаг, детритофаг	42-52	-1,739 -1,397
Ophiuroidea	<i>Ophiocten sericeum</i>		детритофаг, всеядный	15-58	-1,666 2,659
	<i>Ophiura sarsii</i>	илистый, илисто-песчаный, песчаный	хищник, падальщик, всеядный	19-75	-1,772 2,514
	<i>Stegophiura nodosa</i>	песчаный	хищник, падальщик	10-15	2,01 2,7634
Sipuncula	<i>Golfingia margaritacea</i>	илистый, песчаный, песчано-гравийный	детритофаг	32-64	-1,657 1,927
Isopoda	<i>Saduria sabini</i>	илистый	хищник, детритофаг	44-84	-1,74 -1,698

Таблица 3.3.4.1 – Функциональные группы и предпочитаемый тип грунта массовых

видов. Описан диапазон глубин и температур на станциях, на которых данные виды доминировали по биомассе.

Более глубоководно расположены виды *Ciliatocardium ciliatum*, *Astarte montagui*, *Astarte borealis* (до 50 м). *Nuculana pernula* распространена в диапазоне глубин от 46 до 64 м. Самым глубоководным из двустворчатых моллюсков в районе исследования в 2014 г. был вид *Yoldiella lenticula*, являющимся массовым на глубинах 53-94 м.

Portlandia arctica, *Ennucula tenuis*, *Bathyarca glacialis* и *Yoldiella lenticula* являлись доминантами только в диапазоне отрицательных температур.

Полихеты в массовых видах представлены *Maldane sarsi* на глубине 41-59 м. и *Myriochele heeri* – 42-52 м. Оба вида доминируют в условиях отрицательных температур до -1,739 °C.

Maldane sarsi является зарывающимся детритофагом, предпочитающим мягкие заиленные грунты (Bonsdorff, Pearson, 1999).

Считалось, что для представителей семейства *Maldanidae* характерно зарывание головой вниз, но в исследования показали, что некоторые виды могут получать пищу с поверхности, посредством рыхания (Josefson, Forbes, Rosenberg, 2002).

Myriochele heeri получает пищу посредством как фильтрации (факультативно), так и сбора детрита с поверхности дна (Ecology of *Myriochele heeri* [Электронный ресурс]).

Класс Ophiuroidea представлен видами *Ophiocten sericeum*, *Ophiura sarsii*, *Stegophiura nodosa*, предпочитающими песчаный грунт.

Ophiocten sericeum является всеядным детритофагом, в районе исследования является массовым на глубинах от 15-58 м. *Ophiura sarsii* и *Stegophiura nodosa* являются хищниками, падальщиками. *Stegophiura nodosa* – самый мелководный и тепловодный среди массовых видов офиур и доминирует на глубине 10-15 м, а *Ophiura sarsii* распространена в широком диапазоне глубин от 19 до 75 м.

Типе Sipuncula единственным видом, вошедшим в список массовых в 2014 г., стал вид *Golfingia margaritacea*, являющийся одним из доминантов на станциях с глубинами около 30 и 60 м и температурами от -1,657°C до 1,927°C. Это широко распространенный вид космополит, заселяющий песчаные и гравийные грунты с содержанием ила, и питающийся детритом (*Golfingia margaritacea* [Электронный ресурс]).

Равноногие раки в массовых видах представлены *Saduria sabini* на станциях с глубинами от 44 до 84 м и диапазоном температур от $-1,74^{\circ}\text{C}$ до $-1,698^{\circ}\text{C}$.

Заключение

Море Лаптевых, являясь суровым окраинным морем России, обладает очень широким спектром гидрологических и гидрохимических характеристик, определяющих условия обитания донной фауны. В данной работе был произведен анализ сопряженности основных физико-химических характеристик придонной воды и донных отложений и структурных показателей макрозообентоса.

Анализ комплексных физико-химических и биологических материалов (абсолютные величины достоверных коэффициентов ранговой корреляции Спирмена $R_s=|0.36-0.87|$) позволяет утверждать, что такие показатели, как температура и соленость воды, концентрация растворенного кислорода, гранулометрический состав донных отложений приводят к формированию 2 сообществ макрозообентоса, сформированных представителями 3 одних и тех же таксономических групп (*Bivalvia*, *Polychaeta* и *Ophiuroidea*), но имеющих достоверные структурные различия.

Большее таксономическое разнообразие, более высокая численность и биомасса макрозообентоса наблюдаются в западном районе юго-западной части моря Лаптевых - мелководной, относительно тепловодной и распресненной действием вод реки Хатанга. Восточный район юго-западной части моря Лаптевых характеризуется меньшим таксономическим разнообразием, меньшей численностью и биомассой, большими глубинами, отрицательными температурами придонной воды и большей соленостью.

При этом ведущую роль в донных сообществах обоих выделенных районов играют представители *Bivalvia*, *Polychaeta* и *Ophiuroidea*. В число форм, доминирующих по биомассе на 2 и более станциях исследованной юго-западной части моря Лаптевых, по данным 2014 г. вошли 13 видов двустворчатых моллюсков, 2 вида полихет, 3 вида офиур, причем наиболее часто (на 7-9 станциях) в число доминирующих форм входили двустворчки *Astarte borealis*, *Macoma calcarea*, *Portlandia arctica*, *Ennucula tenuis*, офиуры *Ophiura sarsii*, *Ophiocten sericeum*, многощетинковые черви *Maldane sarsi*. Наиболее часто на отдельных станциях доминировали двустворчатые моллюски, которые создавали в

среднем 60% от суммарной биомассы бентоса, второстепенную роль играли иглокожие (в среднем 15%) и многощетинковые черви (в среднем 14%).

Основное значение проведенной работы заключается в том, что она является дополнением к уже опубликованным данным со сведениями о современном состоянии макрозообентоса моря Лаптевых, и, в последствии, в совокупности с многолетними данными о состоянии донных организмов, может быть использована для оценки антропогенного воздействия на донные экосистемы арктических морей России.

Так, проведенное сравнение данных, полученных в 2014 г., и информации, доступной в литературных источниках, свидетельствует об устойчивости структурных показателей зообентоса юго-западной части моря Лаптевых - массовые формы и показатели обилия остаются неизменными на протяжении последних 30 лет.

По обобщенным данным многолетних наблюдений (Петряшев и др., 2004; Гуков, 2013) непосредственно в районе работ ранее отмечены сообщества с доминированием двустворчатых моллюсков *Leionucula tenuis* (по существующей классификации *Ennucula tenuis*), *Astarte (Tridonta) borealis*, *Astarte (Nicania) montagui*, *Portlandia arctica*, *Macoma calcaria*, голотурий *Ocnus glacialis*, офиур *Ophiocten sericeum* и полихет *Maldane sarsi*, что практически полностью соответствует нашим данным. Сходны и показатели обилия. По данным 1993-1998 гг. биомассы бентоса около 100 г/кв.м отмечены в наиболее близких к побережью районах моря Лаптевых. Максимальные значения биомассы бентоса (250-300 г/кв.м) зарегистрированы на юге Хатангско-Анабарской палеодолины (Петряшев и др., 2004).

На основании анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Юго-западная часть моря Лаптевых по структурным показателям макрозообентоса может быть разделена на 2 района.

Большее таксономическое разнообразие (в среднем 45 видов в пробе), более высокая численность (1310 экз./кв.м) и биомасса (125 г/кв.м) макрозообентоса наблюдаются в западном районе - мелководном (27 м), тепловодном (+1,29°C) и относительно распресненном (32,4‰) действием вод реки Хатанга.

Восточный район юго-западной части моря Лаптевых характеризуется меньшим таксономическим разнообразием (в среднем 30 видов на пробу), меньшей численностью (990 экз./кв.м) и биомассой (87 г/кв.м), большими глубинами (53 м), отрицательными температурами придонной воды (-1,46°C) и большей соленостью (34,3‰).

2. Ведущую роль в донных сообществах всей юго-западной части моря Лаптевых играют представители Bivalvia, Ophiuroidea и Polychaeta. В число форм, доминирующих по биомассе на большинстве станций, вошли 13 видов двустворчатых моллюсков, 3 вида офиур и 2 вида полихет, причем наиболее часто в число доминантов входили двустворчатые моллюски *Astarte borealis*, *Macoma calcarea*, *Portlandia arctica*, *Ennucula tenuis*, офиуры *Ophiocten sericeum*, *Ophiura sarsii* и многощетинковые черви *Maldane sarsi*. На долю двустворчатых моллюсков приходилось 60% от суммарной биомассы бентоса, второстепенную роль играли иглокожие (15%) и многощетинковые черви (14%).

3. Структурные показатели и закономерности распределения макрозообентоса юго-западной части моря Лаптевых детерминированы такими физико-химическими показателями придонной воды и донных отложений, как температура и соленость воды у дна, гранулометрический состав донных отложений, концентрация растворенного кислорода и pH придонной воды.

4. Состав и показатели встречаемости массовых форм, средние величины общей численности (1000-1300 экз./кв.м), биомассы (90-120 г/кв.м) донных беспозвоночных соответствуют среднемноголетним (за последние 30 лет) значениям для этой акватории, что позволяет охарактеризовать современное состояние макрозообентоса юго-западной части моря Лаптевых как «естественное и ненарушенное».

Список литературы

1. Алекин О.А., Ляхин Ю.И. Химия океана. Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 344 с.
2. Атлас "Климат морей России и ключевых районов Мирового океана [Электронный ресурс] // Единая система информации о мировом океане (ЕСИМО), 2007. URL: <http://www.esimo.ru/atlas/> (дата обращения: 15.04.2017).
3. БПК [Электронный ресурс] // Большая Медицинская Энциклопедия URL: <http://бмэ.орг/index.php/%D0%91%D0%9F%D0%9A> (дата обращения: 2.05.2017).
4. Виноградова К.Л. Морские водоросли Новосибирского мелководья (море Лаптевых) // Исследования фауны морей. Т. 37 (45). 1990. С. 80-88.
5. Геология и полезные ископаемые России. Том 5, книга 1 Арктические моря. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004, С. 468.
6. Гуков А.Ю. Экологический мониторинг в районе Ленской полыньи // Природа. 1995. № 4. С. 25–30.
7. Гуков А.Ю. Экология донных биоценозов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Якутск, 2013. 48 с.
8. Гуков А.Ю. Экосистема Сибирской полыньи. М.: Научный мир, 1999. 334 с.
9. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ, 1982 г. 192 с.
10. Залогин Б.С., Косарев А.Н. Моря. М.: Мысль, 1999. 400 с.
11. Иллюстрированный атлас беспозвоночных Белого моря. Авт. проекта и отв. ред. Марфенин Н. Н.; отв. фоторед. С. А. Белорусцева. М.: КМК, 2006. 312с.
12. Карклин В.П., Карелин И.Д., Юлин А.В., Усольцев Е.А. Особенности формирования припая в море Лаптевых // Проблемы Арктики и Антарктики. №3 (97), 2013. С. 5–14.
13. Карта-схема ледовой обстановки в море Лаптевых [Электронный ресурс] // Архив ФГБУ "Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии

- "Планета" URL: http://planeta.infospace.ru/planeta_products/archive/products/image/00841274/1610200709_s_112.jpg (дата обращения: 2.05.2017).
14. Климат морей России и ключевых районов Мирового океана. Электронный Атлас. [Электронный ресурс] // Единая система информации о Мировом океане (ЕСИМО), 2006. URL: http://data.oceaninfo.info/atlas/index_atlas.html. (дата обращения: 15.04.2017)
 15. Климатические поля термохалинных характеристик моря Лаптевых. [Электронный ресурс] // Единая система информации о Мировом океане (ЕСИМО), 2007. URL: http://www.aari.nw.ru/resources/a0013_17/laptevsv/atlas_start.htm (дата обращения: 15.04.2017)
 16. Кулаков М.Ю. Циркуляция вод и перенос взвесей в моря Лаптевых и Восточно-Сибирском // Проблемы Арктики и Антарктики. №3 (80), 2008. С.86–97.
 17. Лаптевых море [Электронный ресурс] // Большая Советская Энциклопедия URL: <http://bse.sci-lib.com/article068747.html> (дата обращения: 25.03.2017).
 18. Лоция моря Лаптевых. СПб.: Из-во ГУНиО МО РФ, 1997. 278 с.
 19. Лоция моря Лаптевых. СПб.: Из-во ГУНиО МО РФ, 2009. 278 с.
 20. Методические рекомендации по гранулометрическому классифицированию осадков. Л.: ПГО «Севморгеология», 1986. 18 с.
 21. Море Лаптевых [Электронный ресурс] // База знаний URL: http://proznania.ru/?page_id=2356 (дата обращения: 4.04.2017).
 22. Море Лаптевых [Электронный ресурс] // Национальный атлас России, Том 2 "Природа. Экология" URL: <http://национальныйатлас.рф/cd2/index.html> (дата обращения: 7.03.2017).
 23. Морской энциклопедический справочник // Под ред. ак. Н. Н. Исанина. Л.: Судостроение, 1986. Т. 1. - 508 с. Т. 2. - 518 с.
 24. Моря российского сектора Арктики. Вещества на поверхности вод, донная фауна [Электронный ресурс] // Национальный атлас России, Том 2 "Природа. Экология"

- URL: <http://национальныйатлас.рф/cd2/278-279/278-279.html> (дата обращения: 7.03.2017).
25. Нитишинский М.А. Сезонная изменчивость гидрохимических характеристик и потоки биогенных элементов в море Лаптевых. Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. СПб.: ГОСФОНД ГНЦ ААНИИ, 2003. 135 с.
 26. Новихин А.Е., Блошкина Е.В., Морозова О.А, Бондарева Е.П., Мартынов Ф.М., Ермакова Л.А. Особенности формирования весенних промежуточных водных масс в море Лаптевых по данным 2007-2008 гг. / Океанография и морской лед. Под ред. И. Фролова. Litres, 2017.
 27. Новихин А.Е., Смагин В. М. Влияние притока атлантических вод на вертикальное распределение биогенных элементов в Арктическом бассейне // Проблемы Арктики и Антарктики. № 75, 2007. С. 41-49.
 28. Окончательный отчет по результатам эколого-рыбохозяйственных исследований на лицензионном участке «Усть–Оленекский». Южно-Сахалинск, 2015. 345 с.
 29. Окончательный отчет по результатам эколого-рыбохозяйственных исследований на лицензионном участке «Усть–Ленский», Южно-Сахалинск, 2015. 359 с.
 30. Петряшев В.В., Голиков А.А., Шмид М., Рахор А. Макробентос шельфа моря Лаптевых // Фауна и экосистемы моря Лаптевых и сопредельных глубоководных частей Арктического бассейна. В серии: исследования фауны морей. Вып. 54 (62). Часть I. СПб, 2004. С. 9-27.
 31. Петряшев В.В., Сиренко Б.И., Рахор А., Хинц К. Распределение макробентоса в море Лаптевых по материалам экспедиций на г/с "Иван Киреев" и л/к "Polarstern" в 1993 г. // Научные результаты экспедиции ЛАПЭКС-93. СПб: Гидрометеоиздат, 1994. С. 277-288.
 32. Погребов В.Б. Биологический мониторинг морских экосистем: корректность оценок и достоверность заключений // Биота и среда заповедников Дальнего Востока, 2015, №4. С.110-144.

33. Погребов В.Б., Шилин М.Б. Экологический мониторинг прибрежной зоны арктических морей. СПб., 2001. 96 с.
34. Сиренко Б.И. К изученности фауны моря Лаптевых и сопредельных акваторий // Фауна и экосистемы моря Лаптевых и сопредельных глубоководных участков Арктического бассейна. Ч.1. СПб, 2004. С. 5-8.
35. Сиренко Б.И. Морская фауна Арктики (по экспедициям Зоологического института РАН) // Биология моря. 1998. Т.24. Вып. 6. С. 341-350.
36. Сиренко Б.И., Голиков А.Н. 40 лет изучения морской фауны Лабораторией морских исследований Зоологического института РАН // Фундаментальные зоологические исследования: теория и методы. М.–СПб, 2004. С. 58–72.
37. Смирнов А.В., Смирнов И.С. Новые находки иглокожих в море Лаптевых (по материалам экспедиций 1993-1998 гг.) // Морские беспозвоночные Арктики, Антарктики и Субантарктики. В серии: Исследования фауны морей. Вып. 56 (64). СПб, 2006. С. 93-147.
38. Экосистемы Новосибирского мелководья и фауна моря Лаптевых и сопредельных вод Арктического океана: Сб. научн. трудов / Под ред. А.Н.Голикова. Л.: Наука, 1990. 463 с.
39. Arctic Ocean Biodiversity. [Электронный ресурс] // Census of Marine Life. URL: <http://www.arcodiv.org/SeaBottom.html> (дата обращения: 12.05.2017)
40. Bonsdorff E. and Pearson T. H. Variation in the sublittoral macrozoobenthos of the Baltic Sea along environmental gradients: A functional-group approach. Australian Journal of Ecology, 24, 1999. P. 312–326.
41. Ecology of *Myriochele heeri*. [Электронный ресурс] // Sea Life Base. URL: <http://www.sealifebase.org/Ecology/FishEcologySummary.php?StockCode=38829&GenusName=Myriochele&SpeciesName=heeri> (дата обращения: 12.05.2017)

42. Josefson Alf B., Forbes T. L., Rosenberg R. Fate of phytodetritus in marine sediments: Functional importance of macrofaunal community. [Электронный ресурс] // Marine Ecology Progress Series. 2002 P. 71-85.
43. Fossilworks. Paleobiology Database. [Электронный ресурс] URL: <http://fossilworks.org/> (дата обращения: 10.05.2017).
44. Golfingia margaritacea. [Электронный ресурс] // Arctic Ocean Biodiversity. URL: http://www.arcodiv.org/seabottom/worms/sipuncula/Golfingia_margaritacea.html (дата обращения: 12.05.2017)
45. Holemann J. A., Schirmacher M., Kassens H. and Prange A. Geochemistry of Surficial and Ice-rafted Sediments from the Laptev Sea (Siberia). Estuarine, Coastal and Shelf Science (1999) 49, 45–59.
46. Laptev sea. [Электронный ресурс] // Encyclopædia Britannica URL: <https://www.britannica.com/place/Laptev-Sea> (дата обращения: 25.03.2017).
47. List of species of free-living invertebrates of Eurasian Arctic seas and adjacent deep waters. Edited by B.I. Sirenko // Explorations of the fauna of the seas. 51(59). St.Petersburg, 2001. 132 p.
48. Marine bivalve shells of the British Isles. [Электронный ресурс] // National Museum Wales. URL: <http://naturalhistory.museumwales.ac.uk/britishbivalves/> (дата обращения: 10.05.2017).
49. Matishov, D.G., Matishov, G.G., Rissanen, K. Some results On Cs-137 distribution in the Laptev Sea bottom sediments. Edited by Eike Racher. // Scientific Cooperation in the Russian Arctic: Research from the Barents Sea up to the Laptev. *Bericht zur Polarforschung* 287 (1998). P. 40-43.
50. Petryashov V.V., Sirenko B. I., Golikov A. A., Novozhilov A. V., Racher E., Piepenburg D., Schmid M. K. Macrobenthos Distribution in the Laptev Sea in Relation to Hydrology / Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic, 1999. P. 169-180

51. World Ocean Atlas 2009 [Электронный ресурс] // National Oceanic and Atmospheric Administration. National Centers for Environmental Information URL: https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/pr_woa09.html (дата обращения: 15.04.2017).
52. World Ocean Atlas 2013 version 2 [Электронный ресурс] // National Oceanic and Atmospheric Administration. National Centers for Environmental Information URL: <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/> (дата обращения: 15.04.2017).
53. World register of Marine Species. [Электронный ресурс] URL: <http://www.marinespecies.org/> (дата обращения: 12.05.2017)

Приложения

Приложение А - Координаты и глубины станций, даты взятия проб в море Лаптевых в сентябре-октябре 2014 г.

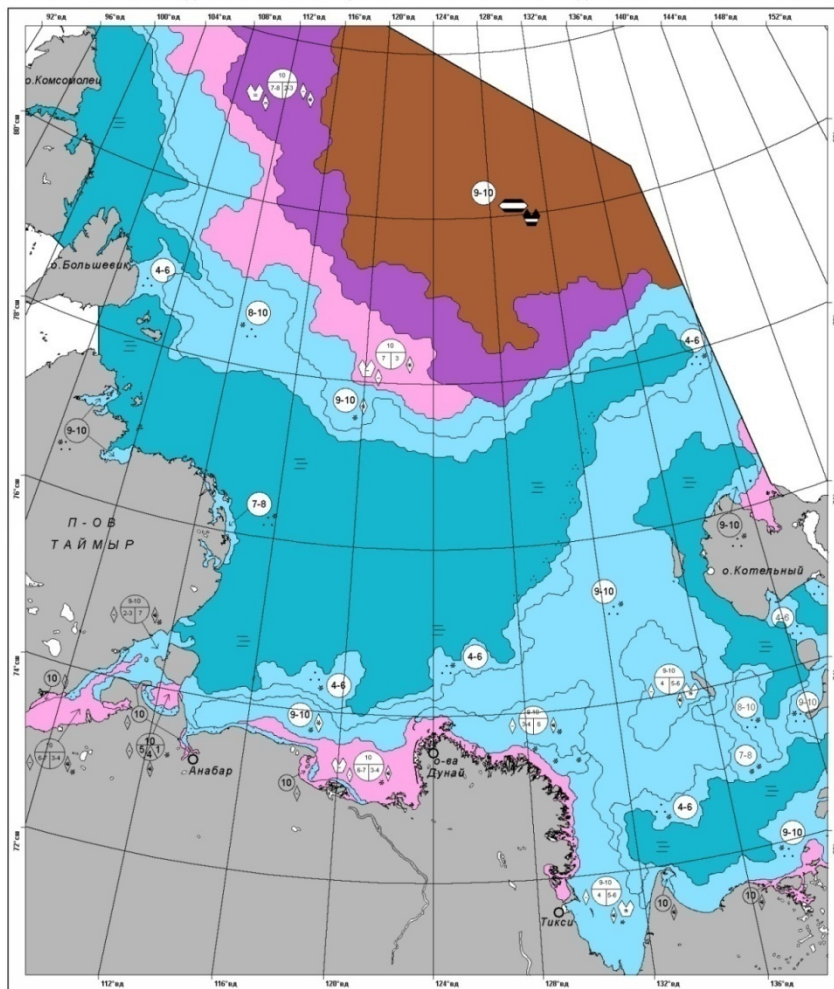
№№	Станция	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Дата сбора	Глубина, м
1	OL_001	74 19 49	121 36 07	27.09.2014	10
2	OL_003	74 39 32	122 43 52	27.09.2014	12
3	OL_012	75 21 23	122 49 16	27.09.2014	46
4	OL_014	76 25 03	121 34 01	30.09.2014	84
5	OL_015	76 02 43	120 24 54	02.10.2014	59
6	OL_016	76 47 59	122 54 50	29.09.2014	94
7	OL_020	75 41 00	121 35 10	02.10.2014	58
8	OL_022	76 04 14	122 47 42	30.09.2014	53
9	OL_025	74 19 33	119 19 19	03.10.2014	19
10	OL_027	75 38 38	119 15 47	01.10.2014	36
11	OL_028	74 37 25	120 28 34	03.10.2014	15
12	OL_029	74 56 07	119 13 34	02.10.2014	19
13	OL_033	74 58 44	121 32 56	27.09.2014	16
14	OL_036	75 18 50	120 24 36	02.10.2014	36
15	OL_039	74 52 36	116 55 48	05.10.2014	23
16	OL_041	75 15 57	118 02 17	05.10.2014	21
17	OL_043	75 59 28	117 55 01	01.10.2014	36
18	OL_045	75 32 40	115 32 31	05.10.2014	20
19	OL_046	76 22 17	119 03 14	01.10.2014	54
20	OL_047	76 42 43	120 19 34	30.09.2014	64
21	OL_048	74 34 06	115 45 06	04.10.2014	15

№№	Станция	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Дата сбора	Глубина, м
22	OL_049	74 47 32	114 33 11	04.10.2014	32
23	OL_051	74 12 33	114 08 31	04.10.2014	31
24	OL_053	74 16 53	116 59 35	03.10.2014	10
25	OL_057	75 11 00	115 41 56	04.10.2014	18
26	OL_060	74 34 41	118 05 24	03.10.2014	19
27	LEN_002	74 53 01	129 12 43	10.09.2014	36
28	LEN_004	74 24 12	126 31 12	11.09.2014	38
29	LEN_005	74 29 01	130 21 36	09.09.2014	22
30	LEN_008	75 14 06	129 54 14	09.09.2014	41
31	LEN_009	76 47 16	128 16 44	08.09.2014	63
32	LEN_011	76 20 29	129 56 20	08.09.2014	52
33	LEN_012	75 54 12	128 17 31	08-09.09.2014	42
34	LEN_013	75 58 16	129 53 35	09.09.2014	47
35	LEN_016	75 37 45	126 48 11	11.09.2014	42
36	LEN_019	75 10 49	128 32 42	10.09.2014	36
37	LEN_020	74 17 42	124 00 07	12.09.2014	15
38	LEN_022	74 59 14	123 57 32	12.09.2014	46
39	LEN_025	75 19 03	125 18 25	12.09.2014	37
40	LEN_030	74 56 01	126 43 55	11.09.2014	34
41	LEN_031	74 36 35	125 17 31	13.09.2014	35
42	LEN_032	75 43 41	123 59 17	28.09.2014	44
43	LEN_034	76 24 27	123 57 22	30.09.2014	64
44	LEN_036	76 48 45	125 27 14	29.09.2014	75
45	LEN_039	76 04 43	125 21 18	28.09.2014	49
46	LEN_040	76 23 00	126 53 31	28.09.2014	46

Приложение В - Ледовая обстановка в Море Лаптевых (18-20.10.2016) (Карта-схема ледовой обстановки в море Лаптевых [Электронный ресурс])



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА РОССИИ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ФГБУ "НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР КОСМИЧЕСКОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ "ПЛАНЕТА"



Проекция: стереографическая
Центральный меридиан: 124° в.д.

КАРТА-СХЕМА ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

составлена по данным ИСЗ NOAA-18,19 / AVHRR, SENTINEL-1A / SAR-C © ESA, TERRA / MODIS,
MetOp-A / ASCAT © NESDIS 18-20.10.2016

У с л о в н ы е о б о з н а ч е н и я

Возрастные характеристики (толщина) дрейфующего льда в см:	Возрастные характеристики (толщина) припая в см:	Формы плавучего льда (размеры):	Обобщённые характеристики льда:
<ul style="list-style-type: none"> - чистая вода - nilas, склянка (до 10) - серый лёд (10-15) - серо-белый лёд (15-30) - тонкий однолетний (белый) лёд (30-70) - однолетний лёд средней толщины (70-120) - толстый однолетний лёд (>120) - старые льды (до 3м и более) 	<ul style="list-style-type: none"> - молодой лёд (10-30) - тонкий однолетний (белый) лёд (30-70) - однолетний лёд средней толщины (30-70) - толстый однолетний лёд (>120) - старый лёд 	<ul style="list-style-type: none"> - начальные виды льда - блинчатый лёд (0,3-3 м) - мелкобитый лёд (2-20 м) - крупнобитый лёд (20-100 м) - обломки ледяных полей (100-500 м) - большие поля (0,5-2 км) 	<ul style="list-style-type: none"> 1-3 - сплочённость льда в баллах 10 6 4 - возрастной состав дрейфующего льда 10 - общая сплочённость 6 - количество более старого льда 4 - количество более молодого льда 10 см - толщина льда (см) 4 - торосистость льда (0-5 бал.)

ФГБУ "НИЦ "ПЛАНЕТА" Россия, 123242, Москва, Б.Предтеченский пер.,7, Тел.:(499) 2523717, Факс: (499) 2526610, E-mail: asmus@planet.iitp.ru