

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанографии ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Магистерская диссертация)**

«Исследование состава и биомассы арктического зоопланктона Северного
Ледовитого океана в условиях изменяющегося климата)»

Исполнитель: Видана Гамаге Лилан Сандаруван, студент группы ПО-М19-1-

Научный руководитель: к. физ.-мат. наук, доцент Т.Р. Еремина

«К защите допускаю»

И. О. заведующего кафедрой _____

(подпись)

_____ кандидат географических наук, доцент,

(ученая степень, ученое звание)

_____ Хаймина Ольга Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

« 18 » июня 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

СОДЕРЖАНИЕ	стр
1.Введения.....	2
1.1.Географическое положение Северного Ледовитого океана.....	4
1.2.Климатические условия и гидрологический режим.....	6
1.3.Климатические изменения в СЛО.....	12
2.Исследование зоопланктонных сообществ в СЛО.....	18
2.1.Состояние изученности.....	18
2.2.Методы обработки зоопланктонных проб	22
2.3.Идентификация видов	24
2.4.Метод определения биомасс	27
3.Анализ и Состояния зоопланктонов в СЛО по данным наблюдений	30
3.1.Видовой состав и биомасса зоопланктонных сообществ	30
3.2.Соотношение длины и веса.....	35
3.3.Биомасса зоопланктона	37
3.4.Температура поверхности И солёность в районах исследований	41
4.Анализ.....	45
4.1.Влияние биомассы на изменение температуры	45
4.2.Изменение температуры в Северном Ледовитом океане	47
4.3.Изменение солёности в Северном Ледовитом океане	51
5.Заключение	53
6.Список литературы	54

1. Введения

Океаны покрывают около 71% поверхности Земли, в основном регулируют мировой климат, населяют мириады видов, они выступают в качестве основного пищевого ресурса и обеспечивают множество экосистемных услуг. Морская среда находится под угрозой из-за деятельности человека, например:загрязнение, эксплуатация и разрушение среды обитания. Кроме того, возрастающее количество антропогенных выбросов углекислого газа и других парниковых газов привело к закислению океанов, что способствует повышению глобальной температуры.

Это серьезная проблема - понять влияние недавнего изменения климата на сообщества зоопланктона. Воздействие глобального потепления разнообразно и определяется многими факторами, которые определяют необходимость понимания экологических изменений в сообществах зоопланктона. Повышение температуры поверхности моря может изменить фенологию зоопланктона и структуру сообщества. Недавние исследования в глобальном масштабе показали уменьшение размеров и продуктивности зоопланктона, что было связано с изменением климата. Реорганизация сообщества зоопланктона с потеплением может изменить взаимодействие сообществ и поток энергии через целые водные пищевые сети.

Северный Ледовитый Океан испытывает одни из наиболее явных последствий глобального изменения климата. Площадь и толщина морского льда значительно уменьшились за последние десятилетия и, по прогнозам, сохранятся и в будущем. Ожидается, что окружающая среда испытает значительные изменения в водной толще, такие как повышение температуры поверхностных вод, закисление океана, усиление стратификации и изменения в циркуляции воды. В условиях продолжающегося изменения климата исследования, основанные на моделях, указывают на миграцию атлантических видов на север с увеличением пассивного притока воды в Северный Ледовитый Океан.

С тех пор жизнь на Земле всегда сталкивалась с меняющимися условиями на планете. Что касается климата, то организмы должны были иметь дело с изменяющимися периодами относительно теплых и холодных температур в геологических временных масштабах. Однако наблюдения прошлого века показали, что глобальные температуры снова имеют тенденцию к повышению. Недавние исследования Hansen et al. (2006, 2010, 2014) показывают, что глобальная температура суши и океана повысилась примерно на $0,8^{\circ}\text{C}$ с начала температурного рекорда.

Межправительственная группа экспертов по изменению климата представила несколько сценариев глобального потепления, зависящих от антропогенных выбросов парниковых газов, таких как углекислый газ (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O) и концентрация галогенуглерода в Атмосфера. Количество парниковых газов постоянно увеличивалось с начала промышленной революции в 1850-х годах и значительно превысило естественный диапазон за последние 650 000 лет. До начала индустриализации концентрация CO_2 колебалась от 180 до 300 мкатм (Siegenthaler et al. 2005). В результате деятельности человека сегодняшняя концентрация CO_2 в атмосфере составляет 380 мкатм и увеличивается со скоростью $\sim 0,5\%$ в год (Forster et al. 2007).

За последнее десятилетие в Северном Ледовитом Океане произошел биогеографический сдвиг в виде увеличения преобладания бореальных видов веслоногих рачков умеренного пояса. Расширение на север сообществ зоопланктона, связанных с теплыми водами Тихого океана, сокращает количество холодноводных видов. Изменения в сообществе зоопланктона также приведут к изменениям его качества как источника пищи для высших организмов в пищевой цепи Арктики, поскольку зоопланктон является одним из основных звеньев в пищевой сети Арктики.

Целью работы является изучение состояния зоопланктонных сообществ в Северном Ледовитом Океане в условиях изменения климата.

Задачи:

1. Изучение изменчивости таксономического состава зоопланктона Северного Ледовитого Океана и параметров влияния изменения климата;
2. Изучение изменчивости биомассы, размерного состава зоопланктона Северного Ледовитого Океана и параметров влияния изменения климата;
3. Изучение изменчивости изменения температуры в Северном Ледовитом Океане.
4. Изучение изменчивости солёности в Северном Ледовитом Океане.
5. изучение изменения климата в Северном Ледовитом Океане в зависимости от температуры и солёности.

1.1 географическое положение Северного Ледовитого Океана.

Северный Ледовитый Океан занимает примерно круглый бассейн и занимает площадь около 14 056 000 км² (5 427 000 квадратных миль), что почти равно размерам Антарктиды. Длина береговой линии составляет 45 390 км (28 200 миль), и это единственный океан меньше России, площадь суши которого составляет 16 377 742 км² (6 323 482 квадратных миль). Он окружен сушей Евразии, Северной Америки (включая Гренландию) и Исландии. Обычно в него включаются Баффинов залив, Баренцево море, море Бофорта, Чукотское море, Восточно-Сибирское море, Гренландское море, Исландское море, Норвежское море, Гудзонов залив, Гудзонов пролив, Карское море, море Лаптевых, Белое море и другие притоки. вода. Он связан с Тихим океаном через Берингов пролив и с Атлантическим Океаном через Гренландское и Лабрадорское море.

Северный Ледовитый Океан - самый маленький из пяти основных океанов по площади и средней глубине, полностью расположенный в северном полушарии, между Евразией и Северной Америкой. Северный Ледовитый Океан почти полностью окружен сушей. Средняя глубина 1225 м. Большую часть рельефа дна Северного Ледовитого Океана занимают шельф (более 45% дна океана) и подводные окраины континентов (до 70% площади дна). Северный Ледовитый

Океан соединяется с Атлантикой через глубокие ворота пролива Фрама между Шпицбергом и Гренландией с глубинами до 2,6 км и шириной 600 км. Северный Ледовитый океан соединяется с Тихим океаном через мелководный Берингов пролив (глубина 82 км). Глубокая центральная область Северного Ледовитого Океана разделена хребтом Ломоносова на два основных бассейна: Евразийский бассейн и Амеразийский (Канадский) бассейн. Евразийский бассейн, в свою очередь, разделен хребтом Гаккеля на два бассейна, которые называются бассейнами Нансена и Амундсена. Бассейн Амундсена в среднем является самым глубоким в Северном Ледовитом Океане. Он расположен между хребтом Ломоносова и хребтом Гаккеля. Бассейн Нансена характеризуется преобладанием глубин более 4 км. Он расположен к юго-западу от хребта Гаккеля. Здесь отмечается максимальная глубина Арктического бассейна, она достигает 5449 м. (Kosobokova 2012).

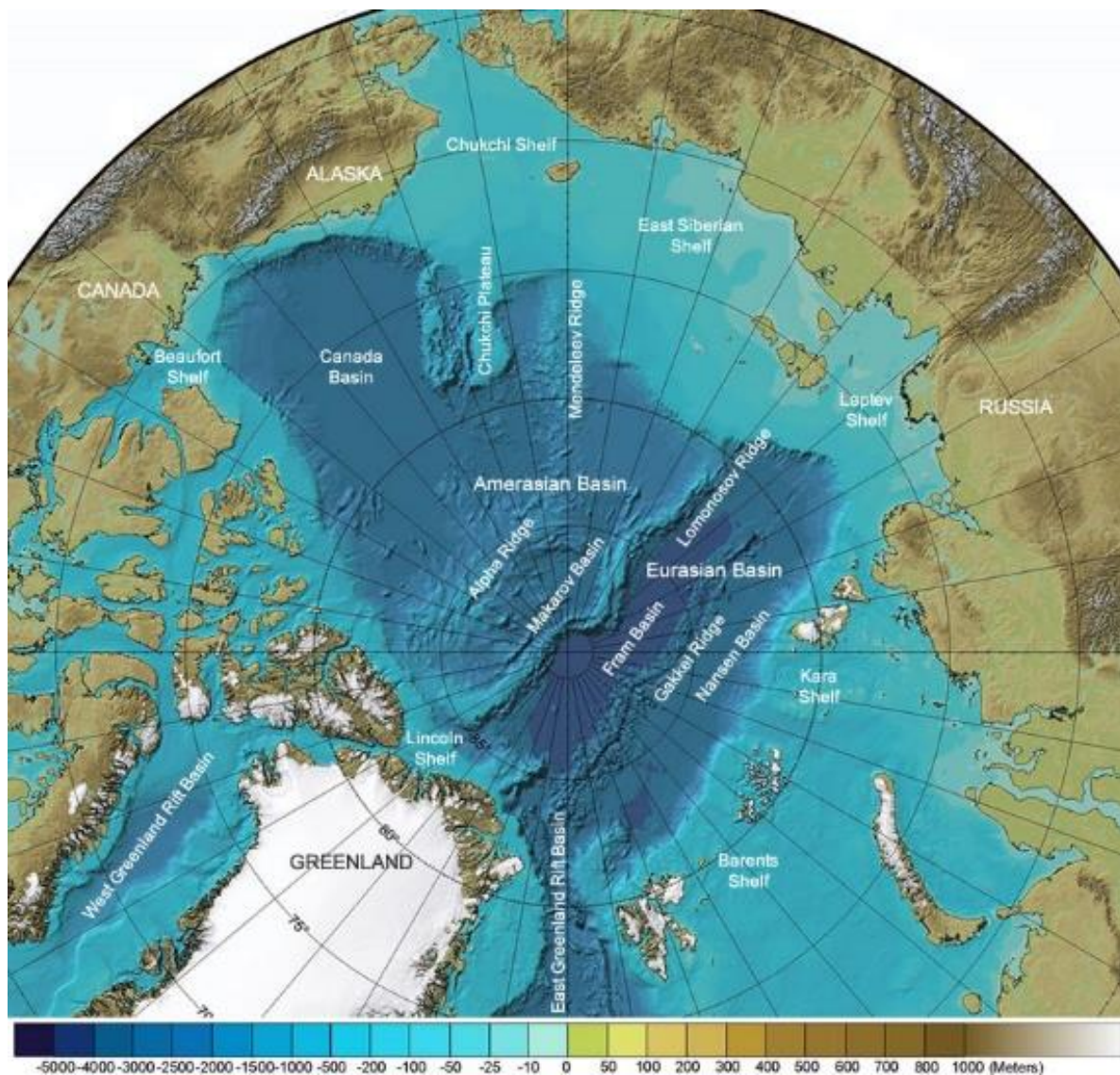


Рисунок 1.1. Карта характеристик морского дна Северного Ледовитого Океана: Международная батиметрическая карта Северного Ледовитого Океана с комментариями с названиями элементов морского дна.

1.2. Климатические условия и гидрологический режим

Северный Ледовитый Океан находится в полярном климате, характеризующемся стойким холодом и относительно узкими диапазонами годовых температур. Зимы характеризуются полярной ночью, экстремальными холодами, частыми низкими температурными инверсиями и стабильными погодными условиями. Циклоны обычны только на атлантической стороне. Лето характеризуется непрерывным дневным светом (полуночное солнце), а температура воздуха может немного подниматься выше 0°C (32°F). Циклоны более часты летом и могут принести дождь или снег. Облачно круглый год,

средняя облачность колеблется от 60% зимой до более 80% летом. Температура поверхностных вод Северного Ледовитого Океана довольно постоянна и составляет примерно $-1,8^{\circ}\text{C}$ ($28,8^{\circ}\text{F}$). точка замерзания морской воды.(Kosobokova, Hirche, 2009)

Зимой относительно теплая вода океана оказывает сдерживающее влияние, даже когда она покрыта льдом. Это одна из причин, по которой Арктика не испытывает экстремальных температур, наблюдаемых на антарктическом континенте.

В большей части Северного Ледовитого Океана верхний слой (около 50 м [160 футов]) имеет более низкую соленость и более низкую температуру, чем остальная часть. Он остается относительно стабильным, поскольку влияние солености на плотность больше, чем влияние температуры. Он питается притоком пресной воды крупных рек Сибири и Канады (Обь, Енисей, Лена, Маккензи), вода которых почти плавает в более соленой, плотной и глубокой океанской воде. Между этим слоем с более низкой соленостью и основной частью океана находится так называемый галоклин, в котором соленость и температура повышаются с увеличением глубины.

Воды Арктического бассейна формируются под влиянием притока атлантических и тихоокеанских вод, речного стока, процессов таяния и ледообразования (Coachman, Barnes 1961, 1962, 1963; Rudels et al. 1994, 2000, 2004; Schauer и др., 1997; Woodgate et al, 2001). Существуют три основные водные массы для вертикального распределения температуры и солености в Арктическом бассейне: полярные поверхностные воды (PSW), атлантические воды (AW) и глубинные водные массы, в результате чего смешанные продукты образуют теплые полярные поверхностные воды (wPSW) и (Rudels 1987; Rudels et al.1994, 2004). Слой PSW простирается от поверхности до глубины 200-250 метров. Он характеризуется относительно низкой соленостью 30-30,5 psu и отрицательной температурой, близкой к температуре замерзания $-1,8^{\circ}\text{C}$

(Treshnikov, 1959; Coachman, Barnes, 1961, 1962, 1963; Nikiforov, Speikher, 1980; Kosobokova, Hirche, 2009).

В открытых водах более теплая версия PSW (wPSW) находится в самых поверхностных слоях (около 0 ° C) (Nicolopoulos et al. 2018). AW имел в основном положительную температуру и более высокую соленость, чем PSW. Он образован теплыми и солеными атлантическими водами, проникающими в Арктику через Каркасный пролив, Баренцево и Карское моря. По данным, полученным в середине 20 века, максимальная температура в районе Шпицбергена составляла + 2-3 ° C, а на Аляске - +0,5 ° C (Coachman, Barnes, 1961). Соленость атлантических вод постепенно увеличивается с глубиной до 34.9 psu (Kosobokova, 2012).

Представления о механизме циркуляции поверхностных вод в Арктическом бассейне сформировались в основном на основе наблюдений за дрейфом арктических льдов и гидрографических измерений. Поверхностная циркуляция формируется под влиянием речного стока и в большей степени является результатом действия господствующих ветров. Общая циркуляция вод в Арктике состоит из трех частей (рис.1.1). Первая часть представляет собой обширный медленно движущийся антициклонический круговорот к северу от моря Бофорта. Второй - трансарктическое течение (Transarctic Drift). Это поток воды из Чукотского моря через центральную часть океана. Третий - циклонический круговорот в море Лаптевых. Морской лед перемещается с этими течениями и покидает Арктический бассейн через пролив Фрама между Гренландией и Шпицбергенем (Горшков, 1983; Никифоров и Шпейхер, 1980; Данбар, Хардинг, 1968).

Арктика наиболее примечательна своим многолетним (многолетним) морским льдом, который исторически покрыл около половины Северного Ледовитого Океана (Stroeve et al. 2007), хотя в последние годы (2007 г. и далее по сравнению с 1980-ми годами) произошло потепление Арктики. сократил площадь многолетнего морского льда примерно на 40% (Nghiem et al. 2007) и

уменьшил среднюю толщину льда с ~ 3 м до $\sim 1,5$ м (Kwok and Rothrock 2009). Морской лед, сезонно покрывающий весь Северный Ледовитый Океан, является ключом к удивительной тишине Северного Ледовитого Океана - он гасит поверхностные и внутренние волны и изменяет передачу импульса ветра воде. Процессы морского льда также сильно влияют на стратификацию океана, обеспечивая более свежий поверхностный слой при таянии и перемешивание поверхностных вод за счет отторжения рассола при замерзании (поскольку менее соленый лед образуется из соленой воды).

Северный Ледовитый Океан играет две роли в глобальной циркуляции океана - он обеспечивает океанический путь между Тихим и Атлантическим Океанами; кроме того, он принимает данные из Атлантики, изменяет их и возвращает в Атлантику (Rudels and Friedrich, 2000). Единственные ворота Тихого океана в Арктику - это узкий (ширина ~ 85 км), неглубокий (глубина ~ 50 м) Берингов пролив, через который в Арктику попадает около $0,8 \text{ Зв}$ ($1 \text{ Зв} = 10^6 \text{ м}^3 / \text{с}$). Свойства этого притока значительно изменяются в зависимости от сезона: от $0,43 \text{ Зв}$, $-1,9^\circ\text{C}$ и 33 psu зимой; примерно до $1,2 \text{ Зв}$, выше 2°C и ниже $31,9 \text{ psu}$ летом (Woodgate et al. 2005a). (Безразмерная единица «psu» используется в этой статье для обозначения солености, измеренной по Практической шкале солености (Lewis 1980). В числовом выражении значения эквивалентны частям соли на тысячу частей воды.)

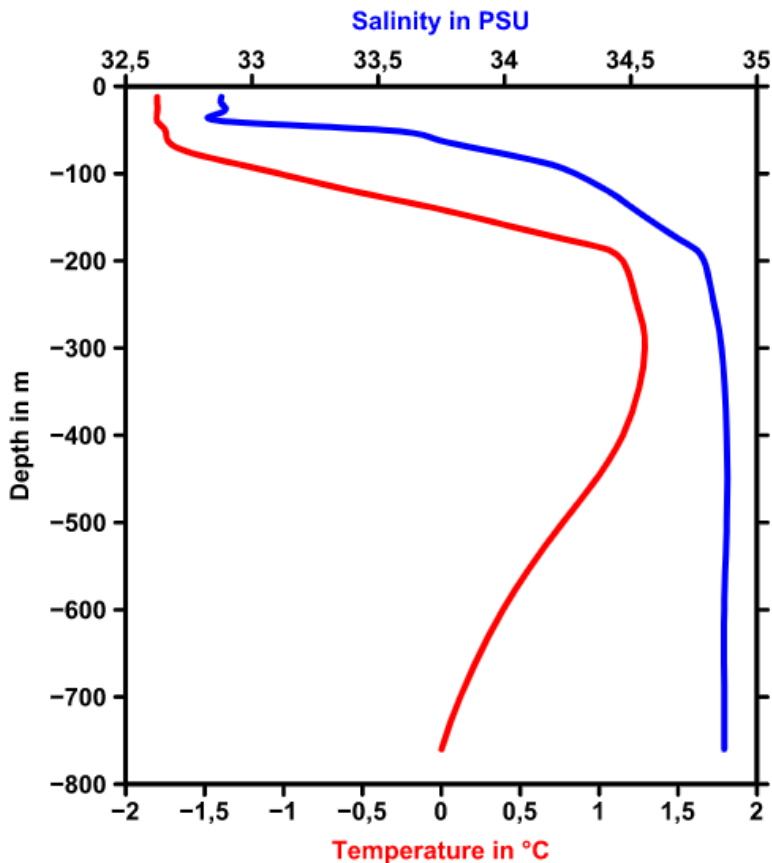


Рисунок 1.2. График солености температуры морской воды в Арктике.

Приток через Атлантический Океан обычно более соленый (более 34 psu), более теплый (более 0 ° C) и примерно в 10 раз больше по объему, чем приток через Тихий океан. Атлантический приток поступает как через пролив Фрама (ширина ~ 350 км, глубина ~ 2700 м), так и через Баренцево море (в основном через желоб Святой Анны, шириной ~ 200 км и глубиной ~ 600 м). Реки России (~ 0,13в) и осадки за вычетом испарения (~ 0,063в). Однако вместе они составляют примерно две трети пресной воды, поступающей в Арктику, а оставшаяся треть поступает из Тихого Океана (Aagaard and Carmack 1989, Serreze et al. 2006). (Поскольку приток воды в Тихий океан более свежий, чем средняя соленость Северного Ледовитого Океана, он освежает Арктику. Это опреснение можно количественно определить как эквивалентный объем чистой пресной воды. Толщину воды в Арктике можно рассматривать как набор в основном не взаимодействующих слоев и подразделяются на типичные профили западной Арктики (Канадский бассейн) или восточной Арктики (Евразийский бассейн) (McLaughlin et al. 1996).

В районах с ледяным покровом оба профиля обычно имеют тонкий (~ 5-10 м) поверхностный смешанный слой, хотя в (все более распространенных) свободных ото льда регионах, ветровые смешанные слои могут быть более чем в два раза глубже (Rainville et al. 2011 г.).

Тихоокеанские воды (PW) оказывают три основных влияния на Арктику, обеспечивая: а) важный источник океанического тепла (около одной трети теплового потока в проливе Фрама) в арктических морских льдах (Woodgate et al. 2010); б) около одной трети притока пресной воды в Арктику с последствиями для стратификации Арктики (Aagaard, Carmack, 1989; Serreze et al., 2006); и с) доминирующий источник питательных веществ Арктики (Walsh et al. 1989). Потоки тепла и пресной воды остаются практически неизменными из года в год (Woodgate et al. 2006; Woodgate et al. 2010; Woodgate et al. 2012). Содержание питательных веществ (особенно соотношение силикатов или нитратов к фосфату (Jones et al. 1998)) и свойства температуры и солености используются для тихоокеанских водных путей в Арктике.

Тихоокеанские воды встречаются со стороны канадского бассейна хребта Менделеева, а иногда также в бассейне Макарова и вплоть до хребта Ломоносова (McLaughlin et al. 1996; Swift et al. 2005). Однако вероятно, что их расположение отражает изменение положения Трансполярного дрейфа морского льда (который переносит лед из России в пролив Фрама (например, Rigor et al. 2002)), а не рельефа дна. Исторические гидрографические данные (Steele et al. 2004) предполагают, что распределение PSW отражает состояние арктического колебания (АО, индекс основного режима изменчивости давления на уровне моря в северном полушарии (Thompson and Wallace 1998)). Например, при высоких условиях АО Трансполярный дрейф охватывает большую часть западной части Арктики, что приводит к меньшему круговороту Бофорта и меньшему влиянию ПВ в восточной Арктике. Эта изменчивость может также объяснить изменения в пропорциях ПВ, покидающих Арктику через Канадский архипелаг и пролив Фрама (Falck et al. 2005, Jones et al. 2003).

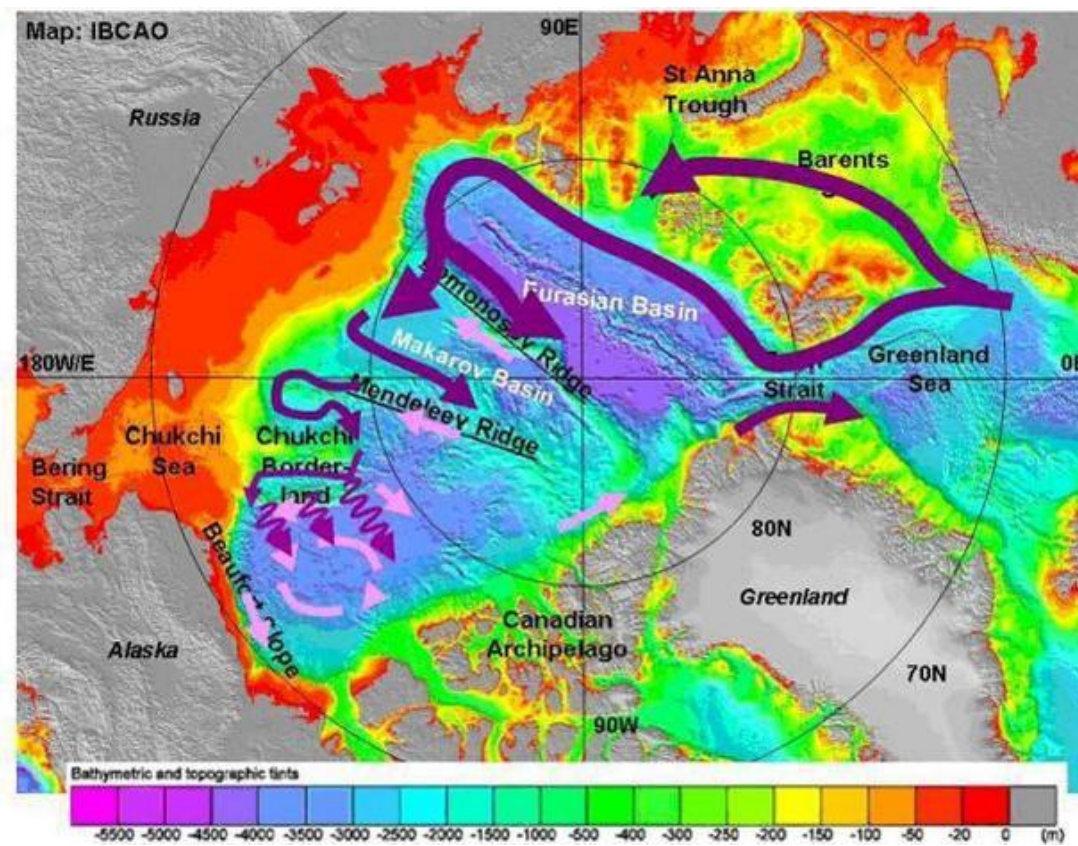


Рисунок 1.2.1 Схема циркуляции атлантических вод.

1.3. Климатические изменения в СЛО

Последствия глобального потепления в Арктике или изменения климата в Арктике включают повышение температуры воздуха и воды, потерю морского льда и таяние ледяного покрова Гренландии с соответствующей аномалией низких температур, наблюдаемой с 1970-х годов. Связанные с этим воздействия включают изменения циркуляции океана, увеличение поступления пресной воды и закисление океана. Косвенные воздействия через потенциальные климатические телесвязи со средними широтами могут привести к учащению экстремальных погодных явлений (наводнения, пожары и засухи), экологическим, биологическим и фенологическим изменениям, биологическим миграциям и исчезновениям, стрессам, связанным с природными ресурсами, а также здоровью людей, перемещению и вопросы безопасности. Возможные

выбросы метана из региона, особенно в результате таяния вечной мерзлоты и клатратов метана, могут произойти. В настоящее время Арктика нагревается вдвое быстрее, чем остальной мир (Гудман и др. 2012). Яркий выраженный сигнал потепления, усиленная реакция Арктики на глобальное потепление, часто рассматривается как ведущий индикатор глобального потепления. Таяние ледникового покрова Гренландии связано с усилением полярных полей. Потепление в Арктике в первую очередь вызвано антропогенными выбросами парниковых газов, таких как углекислый газ, метан и закись азота.

Нигде изменение климата не является более очевидным, чем в Арктике. А Арктика помогает регулировать мировую температуру: чем больше тает арктических льдов, тем теплее становится наш мир.

Вот факты:

Таяние льда ускоряет изменение климата. Глобальное потепление вызывает таяние арктических льдов - лед отражает солнечный свет, а вода его поглощает. Когда лед в Арктике тает, океаны вокруг него поглощают больше солнечного света и нагреваются, в результате чего мир становится теплее.

Уровень моря повышается. За последнее столетие средний мировой уровень моря поднялся на четыре - восемь дюймов. Ожидается, что таяние арктических льдов ускорит подъем уровня моря. По оценкам некоторых экспертов, к 2100 году уровень Мирового океана поднимется на 23 фута, что приведет к затоплению крупных прибрежных городов и затоплению некоторых малых островных стран, что приведет к неисчислимым разрушениям.

Но подождите, в Арктике добывается нефть. Несмотря на то, что в Северном Ледовитом Океане есть нефть, наша зависимость от нефти в первую очередь является причиной изменения климата, но это не остановило такие крупные корпорации, как Shell и Exxon Mobil, от попыток освоить Арктику. Сжигать больше ископаемого топлива - последнее, что нам следует делать, если мы надеемся предотвратить наихудшие последствия изменения климата. (Burek, K.A., F.M.D. Gulland, and T.M. O'Hara. 2008)

Прогнозируется, что будущее потепление на конец 21 века составит от 1,1 ° C до 6,4 ° C с различными вероятными сценариями. Недавние наблюдения подтверждают повышение температуры поверхности моря (IPCC 2014). Концентрация атмосферного CO₂ увеличилась с 280 мкатм в доиндустриальные времена до нынешнего уровня 391 мкатм (Le Quéré et al. 2012). К 2100 году ожидается дальнейшее увеличение CO₂ (водн.), Что приведет к снижению pH на 0,3-0,5.

Повышение температуры имеет прямые и косвенные последствия для морских организмов. Увеличение (ТПО), привело к усилению стратификации водной толщи, что снижает вертикальное перемешивание и снижает перенос биогенных веществ из более глубоких вод в поверхностные слои (Behrenfeld et al. 2006; Doney 2006). Воды с более стратифицированным ограничением питательных веществ благоприятствуют мелким видам зоопланктона по сравнению с более крупными, которым требуется больше питательных веществ (Vopp et al. 2005).

Глобальное потепление считается одним из наиболее важных факторов будущих изменений в морских экосистемах (Boyce et al. 2010; Mackas et al. 2012), при этом прогнозируется повышение температуры поверхности океана на 1–6 ° C в 21 веке (IPCC). 2007). В основе морской пищевой сети повышенная температура связана со снижением биомассы зоопланктона (Boyce et al. 2010; Sommer and Ленгфеллнер 2008; Sommer and Lewandowska 2011). Установлено, что повышение температуры коррелирует с более низкой численностью мезозоопланктона (Edwards and Richardson 2004) и было экспериментально показано, что это связано с более быстрым отмиранием зоопланктона (Sommer et al. 2007), но экспериментальная оценка прямого воздействия температуры на морфологию, фенологию и численность зоопланктона в сравнении с косвенным воздействием температуры на запасы пищи до сих пор отсутствует.

В биогеографическом масштабе смещение ареалов видов к более высоким широтам и высотам является наиболее распространенным экологическим

изменением, приписываемым глобальному потеплению (Beaugrand et al. 2002; Parmesan and Yohe 2003). Эти наблюдения часто используются для прогнозирования воздействия потепления на биоту и их будущего распределения в соответствии со сценариями изменения климата (Pearman et al. 2008). Помимо сдвигов в ареале видов, второй широко наблюдаемой реакцией на потепление является изменение фенологии (Walther et al. 2002).

В качестве третьей универсальной реакции на потепление повышение температуры может привести к уменьшению размера тела (Daufresne et al. 2009; Gardner et al. 2011; Walther et al. 2002). Взаимосвязь между размером тела и климатом является классической макроэкологической моделью (Bergmann 1847). Первоначально правило Бергмана гласило, что среди эндотермных животных животные с более крупным телом, как правило, живут в более холодных условиях, но позднее оно было распространено на другие типы организмов. Blackburn et al. (1999) предложили применять правило Джеймса (1970) для связанных с климатом изменений размеров внутри видов, в то время как термин «правило Бергмана» (1874) следует использовать для межвидовых тенденций. Физиологическая теория зависимости размера тела от температуры только недавно вновь стала предметом внимания экологии из-за предсказаний глобального потепления. (Дауфресн и др., 2009 г.; Гудман и др., 2012 г.). Примеры уменьшения размера тела с потеплением были проиллюстрированы как в наземных (Гарднер и др., 2011; Патридж и др., 1994), так и в водных экосистемах (Суини и др., 1986), а также в различных таксонах животных (Гудман и др. 2012; Йом. -Tov and Geffen 2011), включая насекомых, ракообразных, рыб, земноводных, птиц и млекопитающих (Daufresne et al. 2009; Reading 2007; Sheridan and Bickford 2011). Противоположные реакции были обнаружены в некоторых исследовательских системах, увеличивая размер тела при потеплении у некоторых рыб, ящериц, птиц и млекопитающих (Gardner et al. 2011; Thresher et al. 2007; Yom-Tov et al. 2010). Интересно, что Forster et al. (2012) обнаружили в своем метаанализе что водные виды реагируют на потепление в десять раз более сильным уменьшением массы тела ($-5\% \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$),

чем у наземных видов ($-0,5\% \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$), и обсуждают, что изменения O_2 , как правило, являются движущей силой изменения размера в водных организмах. Связанные с климатом изменения размеров в естественных сообществах можно отнести к эффектам трех отдельных компонентов: (1) смены видов, (2) сдвиги в возрастной структуре популяций и (3) изменения размеров в определенном возрасте или стадии развития (Daufresne и др. 2009).

Я изучаю наблюдаемую и потенциальную будущую реакцию сообществ зоопланктона на изменение климата. Этот обзор не является исчерпывающим, но призван выделить тематические исследования, в которых климат оказал явное влияние на сообщества зоопланктона и имел или может иметь существенные экосистемные последствия. Такой тематический подход полезен для понимания, но он также демонстрирует, что исследования воздействия климата на зоопланктон находятся на более ранней стадии развития, чем многие группы наземных животных, такие как птицы, бабочки или цветущие растения. Основное внимание уделяется глобальному потеплению с его тепловым эффектом на верхние слои океана и воздействием на процессы стратификации и обогащения питательными веществами. В литературе по зоопланктону преобладают работы по веслоногим ракообразным из-за их космополитической природы, их важности для морских пищевых сетей, их устойчивости в лабораторных условиях, а также из-за предвзятости при отборе проб и сохранении (Calbet, 2008).

Температура, вероятно, является самой важной физической переменной, структурирующей морские экосистемы. Растет понимание того, что состав, численность и трофическая эффективность планктонных сообществ тесно связаны с температурой воды, помимо их прямых физиологических реакций. Именно это критическое влияние температуры делает морские системы чрезвычайно уязвимыми для глобального потепления. Размерная структура и таксономический состав планктона сообщества регулируются их физической и химической средой (Bouman et al., 2003; Badosa et al., 2007; McKinnon et al., 2007). Планктонное сообщество можно представить, как существующее где-то

в континууме состояний между двумя крайностями, при этом обогащение питательными веществами является ключевым определяющим фактором. В холодных, хорошо перемешанных и турбулентных условиях поверхностные воды изобилуют питательными веществами, в сообществе фитопланктона преобладают центрические диатомеи, а соотношение новой продукции к общей продукции сообщества высокое. В этих условиях в зоопланктоне преобладают ракообразные, например, крупные веслоногие ракообразные. Эта короткая и эффективная пищевая сеть богата питательными веществами и поддерживает большое количество планктоноядных и рыбоядных рыб, морских птиц и морских млекопитающих.

Исследования, проводимые в этой области, уникальны, так как позволяют быстро отслеживать изменения в биологических системах Северного Ледовитого океана при изменении климатических условий (температуры, солености). Таким образом, цель данного исследования заключалась в следующем:

2.исследование зоопланктонных сообществ в Северном Ледовитом Океане

2.1.Состояние изученности

Зоопланктон, как основные потребители первичной продукции в Арктике, были центральным компонентом многочисленных океанографических исследований на протяжении более века. Однако первоначальные исследования центральных глубоководных бассейнов Арктики были спорадическими и часто были ограничены географически из-за логистических проблем, связанных с отбором проб вдали от берега. За последние три десятилетия объем биологических наблюдений в Северном Ледовитом океане заметно увеличился. Экспедиции современных исследовательских ледоколов теперь могут за несколько дней достигать регионов, ранее недоступных для дрейфующих ледовых платформ, и позволить гораздо более полный и эффективный отбор проб, чем возможно ранее (Groendahl and Hernroth, 1986).

В прошлом веслоногие рачки - как наиболее разнообразные и численно важная группа - привлекли наибольшее внимание при изучении фаунистического состава зоопланктона Северного Ледовитого Океана (Кособокова, Хопкрофт, 2010). Другим таксонам зоопланктона, как устойчивым формам тела (Amphipoda, Euphausiacea, Decapoda, Ostracoda), так и более хрупким группам (Hydromedusae, Scyphomedusae, Siphonophora, Ctenophora, Larvacea), уделялось меньше внимания из-за их ограниченного присутствия в образцах, обычно получаемых сравнительно мелкие планктонные сети. Общий подход заключался в выявлении наиболее заметных и хорошо известных видов и игнорировании малоизвестных более редких видов, предполагая, что низкая численность приравнивается к низкой значимости.). Северный Ледовитый Океан уникален во многих отношениях. Его продуктивность и сообщества зоопланктона, которые он может поддерживать, широко варьируются в ледниковых / межледниковых временных масштабах, как и его связь с другими океанами. Его глубокая центральная область разделена на два основных

бассейна, Евразийский и Канадский, хребтом Ломоносова, который может служить барьером для распространения глубоководного зоопланктона. (Бродский, Павштикс, 1977), а также гораздо глубже хребты, разделяющие бассейны Нансена и Амундсена в Евразийском бассейне, а также Макаровский и Канадский бассейны в Канадском бассейне.

Сравнение состава зоопланктона в открытых океанических районах, прилегающих акваториях и на шельфе показывает, что сообщества этих трех районов различаются по составу доминирующих видов биомассы. В шельфовых районах Евразийской Арктики основной вклад в биомассу мезозоопланктона вносит *C. glacialis* (до 82%). Вклад других видов крупных океанических веслоногих рачков *C. hysteroeureus* и *Metridia longa* очень невелик. Другими важными компонентами биомассы являются *C. finmarchicus* (до 33%), *Pseudocalanus* spp (до 22%) и перитические *Chaetognata Parasagitta elegans* (до 25%). В районе континентального склона доля *C. glacialis* снижается до 67%, но вид по-прежнему доминирует по биомассе. Совместно доминируют океанические веслоногие рачки *C. hysteroeureus* (до 34%), *M. longa* (до 23%) и *Chaetognata E.hamata* (до 41%). В бассейнах глубже 1500 м доля *C. hysteroeureus* увеличивается до 41%. Совместно доминируют виды *C. glacialis* (до 26%), *M. longa* (до 26%), *E.hamata* (до 19%) (Кособокова, 2012).

В субтропиках Арктика - одна из самых широко изученные регионы в отношении зоопланктона структура сообщества с ранними исследованиями, характеризующими состав зоопланктона и его взаимосвязь с трофическим состоянием (например, Bays, 1981; Bays & Crisman, 1983; Blancher, 1984; Elmore et al., 1984), и более поздние исследования, посвященные сезонной динамике (Crisman et al., 1995; Havens et al., 2000), реакции зоопланктона на экстремальные климатические явления (Havens et al., 2007), влияние выпаса зоопланктона на фитопланктон (Havens et al., 1996) и динамику пищевой сети (Work et al., 2005). Эти исследования показывают, что температура может играть роль в ограничении размера и сезонности зоопланктона ракообразных; однако нельзя было исключить влияние качества ресурсов и хищничества.

Морские пелагические беспозвоночные живут в мире, в котором действует множество факторов стресса, где уровни факторов стресса усугубляются и будут усугубляться глобальными изменениями (Cladeira & Wickett 2003; IPCC 2014). Прогнозирование потенциальных воздействий изменения климата и закисления океана на морскую биоту представляет собой серьезную проблему. проблема для интегративной морской биологии и экологии (Harley et al. 2006; Przeslawski et al. 2008). Увеличение содержания углекислого газа в атмосфере изменяет уровни сопутствующих стрессоров, что приводит к повышению температуры поверхности моря (ТПО), $p\text{CO}_2$, снижению O_2 и, из-за стратификации водного объекта, связанной с температурой, к снижению потока питательных веществ в поверхностные воды.

Обзор всех доступных многовидовых исследований до 2003 года показал, что 41% наблюдаемых видов уже отреагировали на потепление климата (Parmesan & Yohe 2003). Эти реакции можно условно разделить на три категории, соответствующие различным уровням экологической организации (Walther et al. 2002): фенология и физиология (индивидуальный уровень), диапазон и распространение видов (уровень сообщества), а также структура и динамика экосистем. (уровень экосистемы)

Зоопланктон также играет важную роль в формировании масштабов и темпов изменения климата. Способность океана действовать как поглотитель CO_2 частично зависит от биологического насоса. Зоопланктон играет роль в биологическом насосе, потому что большая часть CO_2 , который фиксируется фитопланктоном, а затем съедается зоопланктоном, в конечном итоге опускается на морское дно. Большая часть этого углерода может быть заблокирована в отложениях и удалена из углеродного цикла. Зоопланктон также способствует этому процессу, перемещая большое количество углерода с поверхности океана в более глубокие слои, когда они каждый день ныряют в глубины океана, чтобы избежать приповерхностных хищных рыб. Без разнообразных ролей, выполняемых зоопланктоном, наши океаны были бы лишены крупные рыбы, млекопитающие и черепахи, которые имеют огромную

эстетическую, социальную и финансовую ценность для общества. Фактически, большая часть экономической ценности океанов, оцениваемой в 21 триллион долларов США в год и аналогичной мировому валовому национальному продукту (Costanza et al., 1997), проистекает из важнейших экосистемных услуг, таких как производство рыболовства, круговорот питательных веществ и т. Д. и регулирование климата, обеспечиваемое зоопланктоном.

Зоопланктон является Индикатор изменения климата по множеству причин.

- Во-первых, зоопланктон пойкилотермичен, поэтому его физиологические процессы, такие как прием пищи, дыхание и репродуктивное развитие, очень чувствительны к температуре, причем скорость увеличивается вдвое или втрое при повышении температуры на 10 ° C (Mauchline, 1998).

- Во-вторых, большинство видов зоопланктона недолговечны (1 год), поэтому может существовать тесная связь между климатом и динамикой популяции (Hays et al., 2005). Фактически, некоторые данные свидетельствуют о том, что планктон является более чувствительным индикатором изменений, чем даже сами экологические переменные, потому что нелинейные реакции планктонных сообществ могут усиливать тонкие экологические сигналы (Taylor et al., 2002).

- В-третьих, в отличие от других морских групп, таких как рыба и многие приливные организмы, зоопланктон, как правило, не используется в коммерческих целях (исключения включают криль и некоторые виды медуз), поэтому исследования долгосрочных тенденций в ответ на изменение окружающей среды обычно не смешиваются с тенденциями изменения климата. эксплуатация.

- В-четвертых, распределение зоопланктона может точно отражать температуру и океанские течения, потому что планктон находится в свободном плавании, и большинство из них остается таковым на протяжении всей своей жизни. Напротив, наземные организмы либо укоренились в своем субстрате, либо им необходимо тратить значительную энергию на миграцию или перемещение. Кроме того, репродуктивные продукты зоопланктона распространяются

течениями, а не переносчиками, что делает изменения в распределении зоопланктона с изменением климата более понятными, чем более сложные реакции наземных видов.

•Наконец, поскольку океанские течения представляют собой идеальный механизм для распространения на большие расстояния, почти все морские животные имеют планктонную стадию в своем жизненном цикле; следовательно, изменения в распределении многих морских групп, по крайней мере, частично определяются во время плавания в зоопланктоне.

2.2 Методы обработки зоопланктонных проб

Образцы пелагического зоопланктона, использованные в данном исследовании, были собраны во время экспедиции с 14 августа по 6 октября 2019 г. в Северном Ледовитом Океане, Сибирское море. Район исследований включает станции, расположенные в Сибирском море (станции 87,94,100,107,160,163,169,173,174,177,180,182,185,187,189,192,195,197,199, 201. Обзор станций отбора проб приведен на Рис. 2.2. Сводка станций, рассмотренных в данном исследовании, приведена в Таблица 2.2. (Flores et al. 2018).

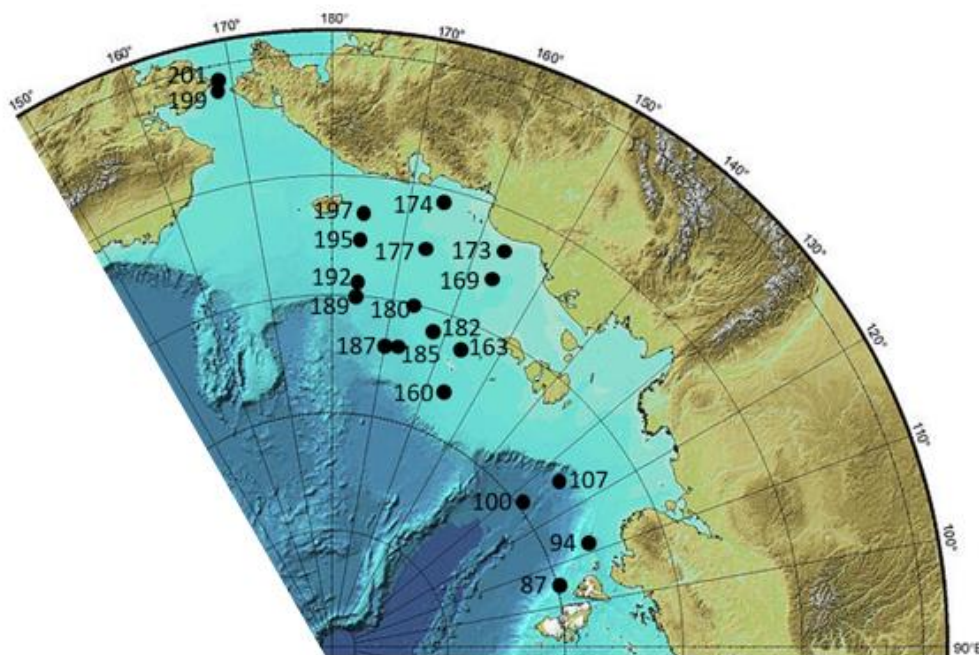


Рис. 2.2. Обзор станций за 2019 год.

Station	дата	время	Longitude	Latitude	глубина (м)
87	9/17/2019	4:33:00 AM	79° 47.956' N	104° 32.767' E	374
94	9/18/2019	8:03:00 AM	78° 12.007' N	110° 47.682' E	294
100	9/18/2019	5:37:00 PM	79° 34.985' N	126° 00.318' E	89
107	9/19/2019	8:33:00 AM	77° 58.696' N	126° 00.136' E	3246
160	9/20/2019	10:12:00 PM	77° 59.007' N	155° 30.227' E	2325
163	9/25/2019	10:17:00AM	76° 29.926' N	155° 30.098' E	73
169	9/26/2019	12:30:00 PM	73° 14.046' N	155° 29.923' E	49
173	9/27/2019	9:13:00 AM	71° 43.014' N	155° 30.045' E	34
174	9/28/2019	8:38:00 AM	70° 15.005' N	165° 00.138' E	15
177	9/29/2019	3:33:00 AM	72° 45.011' N	164° 59.829' E	16
180	9/30/2019	21:54:00 PM	75° 10.072' N	165° 00.228' E	28
182	9/30/2019	8:42:00 AM	76° 17.986' N	161° 50.092' E	60
185	10/1/2019	19:20:00 PM	76° 40.017' N	167° 00.559' E	62
187	10/1/2019	2:09:00 AM	76° 54.985' N	169° 37.992' E	205
189	10/2/2019	16:46:00 PM	75° 54.001' N	175° 18.210' E	302
192	10/2/2019	5:22:00 AM	74° 44.810' N	175° 17.987' E	307
195	10/3/2019	19:23:00 PM	72° 46.331' N	175° 18.045' E	88
197	10/3/2019	8:18:00 AM	71° 14.977' N	175° 17.222' E	45
199	10/6/2019	9:21:00 AM	65° 54.547' N	169° 21.961' W	50
201	10/6/2019	11:20:00AM	65° 49.988' N	169° 08.164' W	48

Таблица 2.2. Сводка по станции.

Уловы креветочной сети с размером ячеи 4,5 мм также были разделены на две половины (коэффициент разделения = 0,5). Одну половину сразу консервировали в 4% растворе формальдегид / морская вода. Образцы

транспортировались и хранились при комнатной температуре для последующего анализа видового состава, численности и оценки биомассы в Лаборатории Отто Шмидта для полярных и морских исследований. Со второй половины были извлечены и подсчитаны медузы и определен их объем. Различные другие виды были собраны для дальнейшего анализа. Для этого исследования были использованы замороженные (-20°C) образцы *Themisto libellula*, *Themisto abyssorum*, *Thysanoessa longicaudata*, *Thysanoessa inermis*, чтобы установить соотношение длины и веса, были проанализированы все 20 станций.

Гидрографические данные были записаны с помощью зонда Conductivity Temperature Depth с прикрепленной розеткой для пробоотборника воды (CTD / RO; Sea-Bird Electronics Inc) почти на каждой станции RMT. CTD (SBE911 +) был оснащен дублирующими датчиками температуры (SBE3; SN2460 / 2417) и проводимости (SBE4; SN2055 / 2054), датчиком давления (SBE9 +; SN0485), высотомером (Benthos; SN1228), датчиками флуоресценции. (WETLabs ECO-AFL / FL; SN1670) и датчик растворенного кислорода (SBE43; SN0880). Содержание хлорофилла А в воде рассчитывали по данным флуоресценции CTD Анны Николопулос (Николопулос, неопубликованные данные). Содержание хлорофилла А в поверхностных водах также измерялось датчиками поверхностного и подледного трала А, поверхностного и подледного трала (SUIT) (SUIT: van Franeker et al., 2009; Flores et al. 2018b).

2.3. Идентификация видов

Для анализа видового состава и закономерностей распределения макрозоопланктона был проанализирован улов креветочной сети RMT 8 с 20 станций. Образцы хранили в 4% растворе формальдегид / морская вода сразу после улова и хранили при комнатной температуре. Первоначально коэффициент разделения всех выборок составлял 0,5 (Flores et al. 2018). В лаборатории каждый образец тщательно промывали водой и сортировали по разным группам организмов невооруженным глазом в сортировочном лотке.

Подсчет всех копепод в этих пробах не проводился. Образцы большого количества были разделены на аликвоту не менее 1/4 с помощью планктоноделителя (Motoda, 1959). Однако все редкие виды были взяты из целых образцов.

Я выбрал 20 станций из-за качества данных. Их популяция зоопланктона была подсчитана, и их размер измерен с использованием последовательных методов одним из авторов (J. Beaver), были доступны данные по биомассе вплоть до уровня отдельных видов ракообразных, а пробы отбирались либо ежемесячно (Apopka and the Kissimmee Chain) или раз в два месяца (Okeechobee).

Зоопланктон идентифицировали в бинокль (LEICA M205C). Особи были идентифицированы по морфологическим признакам (Klekowski and Weslawski, 1991). По возможности были идентифицированы *Themisto libellula*, *Themisto abyssorum*, *Thysanoessa longicaudata*, *Thysanoessa inermis*, *Apherusa glacialis*, *Clione limacina* и некоторые редкие виды. Все другие организмы (*Sagitta* spp, *Chaetognatha* и др.) И личинки были определены на уровне типа или класса из-за ограничений по времени. Таксон «*Chaetognata*» был определен в этом исследовании как виды размером от 8 до 30 мм со средней длиной от 12 до 22 мм. Основываясь на этом диапазоне размеров, можно предположить, что эти хетогнаты были преимущественно *E. hamata*. Все хетогнаты, которые были крупнее *E.hamata* и имели глаза, были отнесены к *Sagitta* spp. Репрезентативные подвыборки были проанализированы как минимум до 30 особей каждого таксона. Были подсчитаны все организмы и измерена длина.

Измерения длины проводились под стереомикроскопом (LEICA M205C), подключенным к персональному компьютеру с программным обеспечением Leica Application Suite (LAS) (версия 4.12.0 [сборка: 86]) (*Amphipods*, *Chaetognatha* ect.). Если тело организма было больше 32 мм, организм измеряли линейкой (*Themisto* spp., *Sagitta* spp. Ect.). Все измеренные организмы были сфотографированы (увеличение 0,5х), и результаты измерений были сохранены в персональном компьютере. Все подсчитанные числа и длина более крупных

организмов были отмечены в таблицах данных и позже перенесены в файл Excel. Организмы *Thysanoessa* spp. измерялись от передней части трибуны до кончика тельсона. Организмы *Themisto* spp. Измерялись от переднего края глаза до кончика к телсону, а у других амфипод - от переднего края головы до кончика телсона. *Chaetognatha*, *Sagitta* spp. И личинок рыб измеряли от переднего края головы до конца хвоста. Образцы лимагина *Clione* измерялись от устья до кончика мантии. У видов *Beroe* измеряли длину и ширину тела. У головоногих измеряли длину тела.

Соотношение длины и веса, Измерения веса, содержания углерода и азота, а также длины тела важного зоопланктона сибирского моря проводились с использованием только что пойманных особей. соотношение длина-вес для четырех видов: *T. libellula*, *T. abyssorum*, *T. longicaudata* и *T. inermis*. Зоопланктон собирали во время онликовых выборок на глубине от 0 до 100 метров. Скорость научно-исследовательского судна составляла от 1 до 3 узлов. После измерения размера каждый организм был помещен в отдельный флакон, и ему был присвоен индивидуальный идентификатор образца. Все флаконы помещали в морозильную сушилку (Sublimator VaCo5 4024, Zirbus Technology). Каждый высушенный организм взвешивали на калиброванных аналитических весах (Satorius Genius ME 2355) с точностью до 0,01 мг. (Таблица 2.4).

Визуальный осмотр нанесенных на график данных показал, что данные *T. inermis* и *T. longicaudata* могут быть объединены в одну регрессию для увеличения статистической мощности регрессионной модели.

2.4. Метод определения биомасс

Фракционированные по размеру образцы из сети мезозoopланктона хранили в чашках Петри в морозильной камере при -20 ° C. Образцы размораживали при + 2 ° C в лаборатории. Избыток воды осторожно удаляли из чашки Петри с помощью бумажной салфетки, а затем измеряли свежую биомассу на калиброванной аналитической шкале (Satorius Genius ME 2355) с точностью до 0,01 мг. После этого образец фракции каждого размера сушили вымораживанием в течение 48 часов в сублимационной сушилке (Sublimator VaCo5 4024, Zirbus Technology). Затем каждую чашку Петри с высушенной биомассой взвешивали с точностью до микрограмма. . Всего я проанализировал фракционированные по размерам биомассы мезозoopланктона на 20 станциях.

Биомасса образцов из сети RMT 8 (размер ячейки 4,5 мм) рассчитана с использованием численности и распределения макрозоопланктона по размерам в сочетании с соотношением длина-вес наиболее распространенных видов. На каждой станции я подсчитал количество каждого таксона макрозоопланктона по образцам, сохраненным в 4% растворе формальдегид / морская вода. Численность каждого таксона рассчитывалась по формуле (1):

$$Abundance(ind/m^3) = \frac{\text{number of organisms} \times \text{split-factor} \times \text{filtered volume}}{\text{filtered volume}(m^3)} \quad (1)$$

Я использовал измерения длины животных, чтобы вычислить среднюю индивидуальную длину каждого таксона на каждой станции. Затем я оценил средний индивидуальный вес каждого таксона на каждой станции, применив регрессию длины-веса из этого исследования и других источников для большинства таксонов (Таблица 2.4)

	Параметры регрессии длины и веса	размер образца	Источник
A. glacialis	$DW=0.013892 \times x^{2.4397}$	24	Data from M. A. Klasmeier unpublished
T. abyssorum	$DW=0.01970 \times x^{2.29976}$	65	This study
T. libellula	$DW=0.002654 \times x^{3.00226}$	36	This study
O. glacialis	$DW=0.004 \times x^{2.8983}$	3	Flores et al. 2019
T. longicaudata	$DW=0.0002905 \times x^{3.5451962}$	11	This study
Zoea larvae	$DW=0.0002905 \times x^{3.5451962}$	16	This study
Thysanoessa spp.	$DW=0.0002905 \times x^{3.5451962}$	533	This study
Chaetognaths	$DW=0.0008401 \times x^{2.6571322}$	962	Immerz 2016
C. limacina	$DW=1.6146e^{0.088x}$	11	Mizdalski
L. helicina	DW=0,272 mg for org 2 mm	100	Data from Carmen David and Doreen Kohlbach
Decapoda larvae	$DW=1.196 \times x^{0.7346}$	3	Wagner Valenti
A. digitale	$DW=0,33 \times H^{1.95}$	754	data from Mizdalskii
Mysidacea sp.	$DW=3,08 \times \log(L+0,236)$	17	This study

Таблица 2.4 Резюме регрессий длины-веса для таксонов макрозоопланктона. (DW - сухой вес, x - средняя длина)

Индивидуальная сухая масса головоногих моллюсков рассчитывалась исходя из того, что 1,5 мл кальмаров содержат 80% воды (Schaafsma 2018), объем кальмаров рассчитывался исходя из цилиндрической формы тела. Сухой вес

Limacina spp. Рассчитывался исходя из того, что животные имели средний диаметр 2 мм и весили в среднем 0,272 мг (Mizdalski 1988). Для расчета биомассы медуз я добавил объем от образцов формальдегида к объему медуз, измеренному непосредственно на борту из свежего образца. У медуз, наблюдаемых в образцах формальдегида, я использовал измеренные длину и ширину каждого животного для оценки объема, Данные объема медузы. Измерения на борту взяты из протоколов станций. Средняя биомасса медузы рассчитывалась по формуле Кармен Дэвид (неопубликовано).

Общая биомасса каждого таксона на каждой станции оценивалась путем умножения средней индивидуальной биомассы на численность:

$$Biomass[taxon]=mean\ Biomass[ind]\times abundance[taxon] \quad (2)$$

Средний индивидуальный сухой вес *T.libellula*, *T.abysorum*, *T. longicaudata*, *A. glacialis* был рассчитан с использованием регрессий длины-веса, описанной выше в главе 3.4 (Таблица 2.4). биомассу личинок зоэи рассчитывали с использованием *Thysanoessa* spp. формула, полученная в этом исследовании, при условии, что регрессия аналогична, а численность и биомасса личинок невелики. биомасса личинок рыб рассчитывалась согласно David et al. (2015). Регрессия длины и веса для *Sagitta* spp. был построен на основе данных по *Sagitta gazellae* из Миздальского (1988). Расчет сухой биомассы Chaetognata проводился с использованием соотношений длина-вес, полученных из экспедиции PS92, которая в основном располагалась в том же районе и проводилась в том же сезоне, что и PS106, по данным Immerz (2016). Расчет биомассы *C. limacina* проводился по Бёру (2005). Расчет биомассы редких видов амфипод *Eusiris holmii*, *Onisimus glacialis*, *Gammarus wilkitzkii* и других гаммаридных амфипод проводился в соответствии с Doreen Kohlbach et al. (2016).

3. Анализ и Состояния зоопланктонов в СЛО по данным наблюдений

Для сравнения данных, относящихся к распределению, рассмотрены следующие группы ситуаций, в которых данные анализируются. *Chaetognatha* представлена на всех станциях, потому что я выбрал этот вид для регрессионного анализа со средней биомассой в сравнении со средней длиной. У комформ есть определенные отношения биомассы и длины.

В ходе экспедиции пелагический зоопланктон был собран в сентябре-октябре 2019 года. Тринадцать станций с глубиной от 0 до 100 м, 2 станции с глубиной от 200 до 300 м, 3 станции с глубиной от 300 до 400 м, одна станция - 3246 м, а другая - 2325 м. . Распределение водных масс было типичным для этого региона Северного Ледовитого Океана и отражает взаимодействия между основными компонентами полярных поверхностных вод, тихоокеанских вод и глубинных водных масс, в результате чего смешанные продукты образуют теплые полярные поверхностные воды и модифицированные атлантические воды (Nicolopoulos et al.2018).

3.1 Видовой состав и биомасса зоопланктонных сообществ.

Всего было проанализировано 20 станций по таксономическому составу и численности макрозоопланктона (Таблица 3.1.). Общее количество таксонов было наибольшим на ст. 97, 169 и ст. 187. Большое количество таксонов было на глубоководной станции 107, которая располагалась недалеко от станции 100. На остальных станциях количество таксонов колебалось от 2 до 5.

A. digitale и *Chaetognata* отмечены на 20 станциях. *A. digitale* отмечена на всех станциях, кроме станции 100. *T. libella*. и *L. Helicina* также были обычны почти на всех станциях. *A. glacialis*. *T. abyssorum*. *Thysanoessa* spp. *zoea* были редкостью. Личинка *O. glacialis* и *Decapoda* была обнаружена только по одной на станциях 167 и 97. *Limacina* spp была обнаружена один раз на станции 180,182,189,192. Всего на трансекте было зарегистрировано 13 таксонов (Таблица 3.1.).

	Номер станции	87	94	100	107	160	163	169	173	174	177	180	182	185	187	189	192	195	197	199	201
Таксон	Общее количество таксонов	5	3	2	4	4	3	6	4	4	4	5	5	5	6	4	5	3	6	3	3
Amphipoda	A. glacialis					•	•	•	•												
	T. abyssorum	•		•	•										•						
	T. libellula	•	•		•					•			•	•	•		•				
	O. glacialis							•													
Euphausiacea	T. longicaudata	•												•					•		
	Zoea larvae																		•		
	Thysanoessa spp.								•										•	•	•
Chaetognata	Chaetognaths	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	C. limacina											•	•			•	•				
Pteropoda	L. helicina					•		•			•	•	•	•	•	•	•				
Decapoda	Decapoda larvae																		•		
Cnidaria	A. digitale	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Lophogastrida	Mysidacea sp.							•	•		•							•			

Таблица 3.1. Таксономический состав макрозоопланктона.

Результаты численности макрозоопланктона и вклада основных групп в общую численность показаны на Рисунке 6. Я была выбрана наивысшей численностью станции 174 и самой низкой станцией 94. Наибольшая численность зоопланктона была на станции 174 (31.5 экз. М-3), которая находилась на 70 ° 15.005 'с.ш., 165 ° 00.138' в.д., наименьшая общая численность была на станции 94 (0,42 экз. М-3), т.е. находился также в 78 ° 12.007 'с.ш., 110 ° 47.682' в.д.. Численность группы станций варьировала от 0,02 до 5,0 экз. м-3.

Chaetognata были доминирующей группой макрозоопланктона почти на всех станциях. Вклад Amphipoda был низким на всех станциях и составлял от 1% до 18%. Доля Euphausiacea колеблется от 5% до 65%. Наибольший вклад Euphausiacea был на станциях 199. Таксономический состав шельфа и склона был очень разнообразным. Различные группы макрозоопланктонов внесли разный вклад, поэтому сложно определить доминирующую группу по количеству. Немалый вклад внесли Euphausiacea от 5% до 65%.

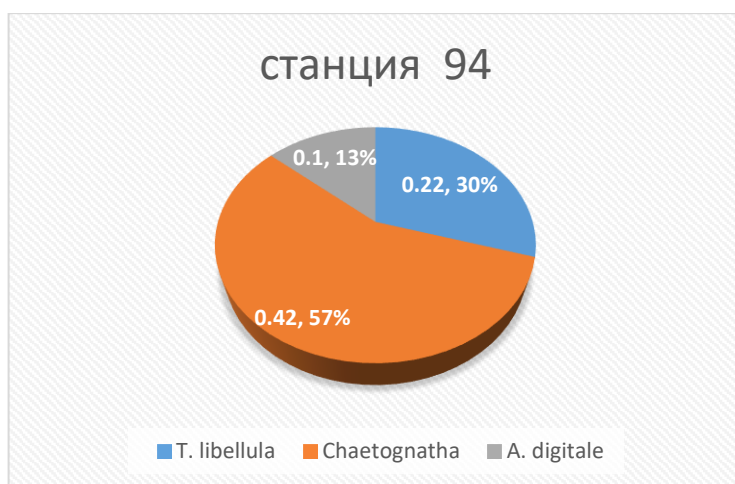


Рис. 3.1. Самая высокая (174) и самая низкая (94) численность станции зоопланктона.

Все станции сообществ зоопланктона схожи. В регионах сибирского арктического моря обычно существует положительная связь между численностью зоопланктона и биомассой. однако это также важно для зоопланктона ракообразных (Havens et al., 2000, и это исследование). Для большинства видов зоопланктона ракообразных не существует уникального субтропического сообщества. В следующих разделах я подробно остановлюсь на характеристиках сибирского зоопланктона в отношении таксономического состава, размера тела и биомассы и проведу сравнения с видовым богатством зоопланктона ракообразных в зависимости от температуры воды.

Таксономический состав микрозоопланктона в верхнем слое 100 м составлял не менее 13 таксонов (Таблица 3.1.). Хетогнаты были доминирующей группой макрозоопланктона практически на всех станциях. Большинство Хетогнаты не были идентифицированы как виды в этом исследовании из-за нехватки времени. Согласно литературным данным, наиболее распространенными видами в районе исследований являются *Parasaggitta elegans* и *Eukrohnia hamata*. *P. elegans* доминирует в зоне шельфа и редко встречается за пределами континентальный склон (Кособокова и др., 2010, Кособокова, 2010). *E. hamata* обычна в глубоководных районах (Кособокова, 2012). В районе исследований оба таксона были распространены почти на всех станциях, но вклад в численность и биомассу был наибольшим в Северном Ледовитом океане. Отмечается, что в поверхностных водах преобладают неполовозрелые особи (длиной 3-25 мм) *E.hamata*, которые размножаются в акртовой воде, обычно на глубине около 700 м (Рихтер, 1994; Тимофеев, 1998). В этом исследовании особи ростом более 25 мм наблюдались на высоте более 100 м, и сообщалось, что арктические воды поднимаются выше (Николопуос без людей). Следовательно, с подъемом арктических вод воспроизводство может быть не таким глубоким, в пределах верхних 400 метров. Хотя хетогнаты связаны с арктическими водами (Кособокова, 2012), они сильно доминировали даже на станциях со слабым влиянием арктических вод в районе исследования.

A.digitale наблюдались практически на всех станциях. Стоит отметить, что *Cnidaria* и *Ctenophora* находились в хорошем состоянии в образцах, сохраненных в формальдегиде. Они были подсчитаны в дополнение к подсчету непосредственно на борту корабля. Различные таксоны были зарегистрированы почти на каждой станции, и литература подтверждает их широкое распространение (Кособокова и др., 1998; Кособокова, Хирче, 2000; Ширли, Люнг, 1970).

T. libellula и *T. abyssorum* - два широко распространенных северных гиперидных амфипода (Koszteln et al. 1995, Klekowski and Węśławski, 1991; Weigmann-Haass, 1997; Dalpadado et al., 2001; Dalpadado, 2002),

идентифицированные в образцах RMT8. . Авторы также подтверждают наличие этого вида в центральной части Северного Ледовитого океана (Ауэль, Хаген, 2002; Кособокова и др., 2010) и в бассейне Нансена (Кособокова и др., 2010) с предпочтением глубин 0-200 м. *T. libellula* была более многочисленна, чем *T. abyssorum*. Арктико-бореальный вид *T. abyssorum* был обнаружен даже на самой северной станции, численность *T. abyssorum* была выше на шельфе, что может свидетельствовать об усилении воздействия арктических вод. Однако присутствие *T. abyssorum* на самых северных станциях трансект в бассейне Нансена может указывать на атлантификацию территории.

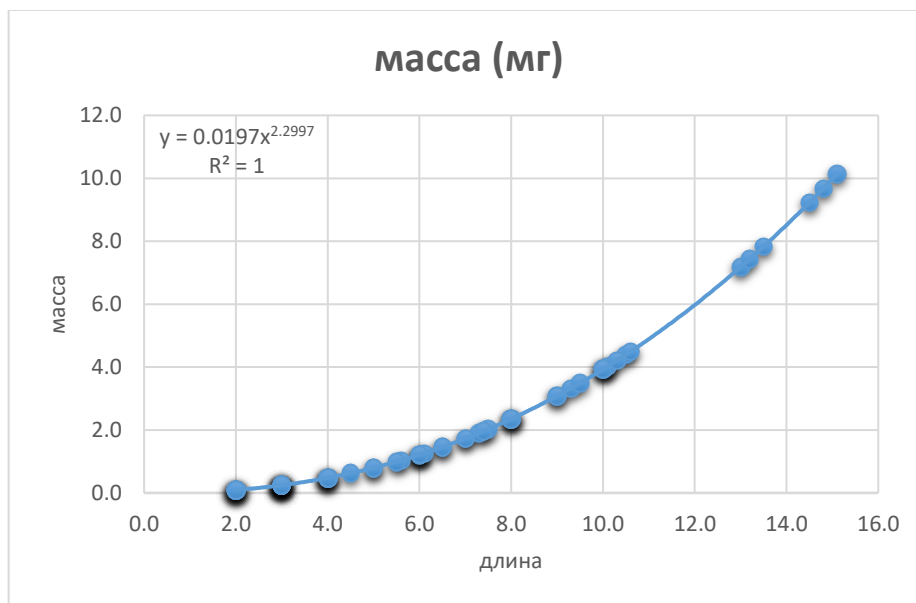
Pteropods *Clione limacina* и *Limacina Helicina*. широко распространены в Северном Ледовитом Океане (Mumm 1993; Kosobokova, Hircche 2000; Auel, Hagen 2002; Norcroft et al. 2005. Kosobokova, Norcroft 2010). Они встречаются как в Евразийском, так и в Канадском бассейнах, как на шельфе, так и в глубоководных. *L. helicina* в нашем исследовании была обнаружена только на одной полке и имела небольшой размер около 6 мм. Наибольший вклад Pteropods в численность обнаружен на акватории моря. Предполагается, что *C. limacina* питается *L. helicina* в полярных водах (Böer 2005), поэтому *L. helicina*, возможно, присутствовали на всех станциях, где была обнаружена *C. limacina*. Наблюдаемые и ожидаемые закономерности уменьшения размера тела веслоногих с повышением температуры соответствуют широко обнаруживаемым тенденциям, характерным для различных таксонов. (Sheridan and Bickford 2011).

Как итог влияния размера и состава тела на температуру, большой размер тела станций (174, 187) был низкой температурой (средняя температура -2,05°C, -2,6°C), потому что увеличение размера и состава тела зоопланктона, а затем ухудшение температуры, приводило к скорости метаболизма .низкий размер тела станции (87,182) был высокой температурой (средняя температура 1,04°C, 1,4°C), потому что уменьшение размера тела затем увеличивало температуру, приводящую к скорости метаболизма.

3.2. Соотношение длины и веса

Для расчета биомассы макрозоопланктона для наиболее распространенных видов *Themisto libellula*, *Themisto abyssorum*, *Thysanoessa longicaudata*, *Thysanoessa inermis*, *Apherusa glacialis* были созданы модели зависимости длины от веса. Полученные Зависимости показаны на Рис.3.2. и Рис.3.2.1.

Themisto abyssorum



Themisto libellula

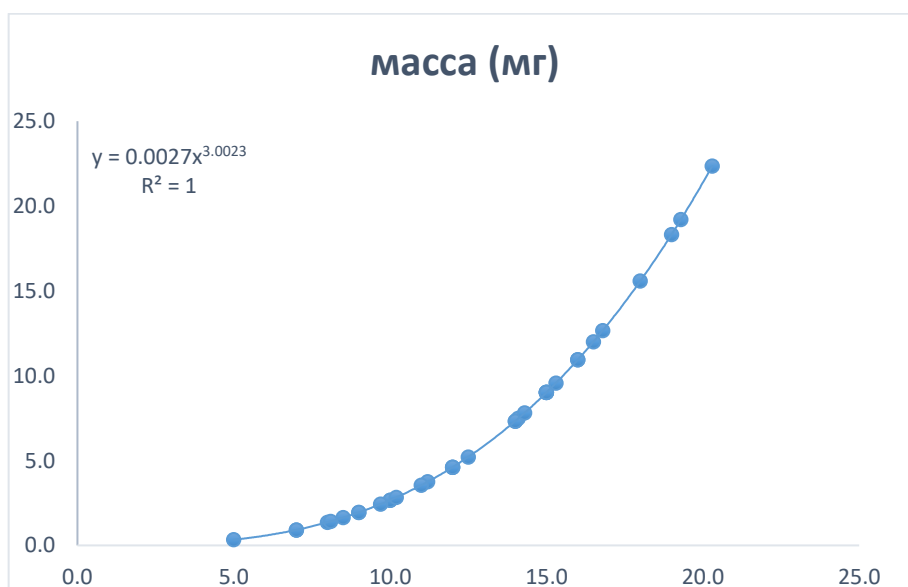
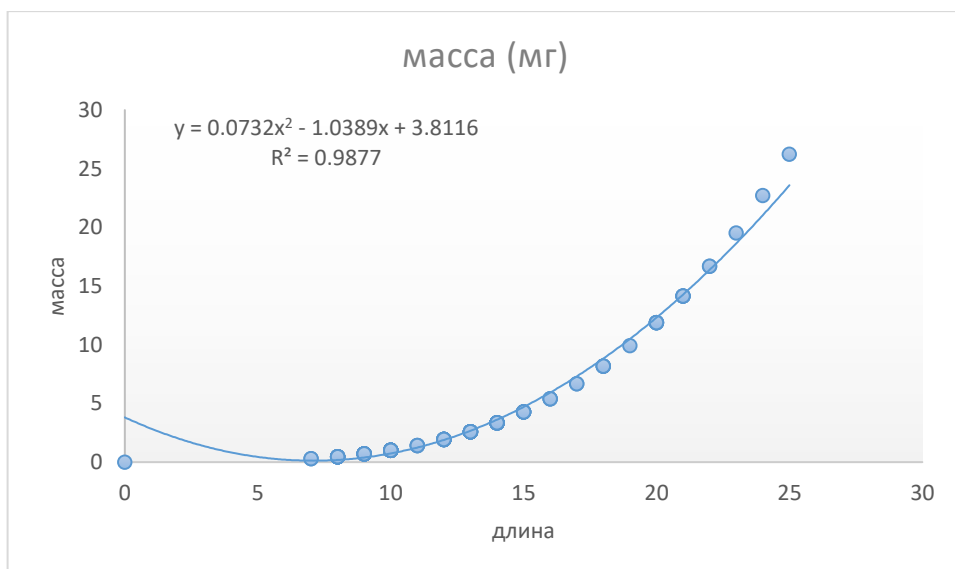


Рис.3.2. Соотношение длины и веса для *Themisto abyssorum*, *Themisto libellula*

Thysanoessa spp.



Apherusa glacialis

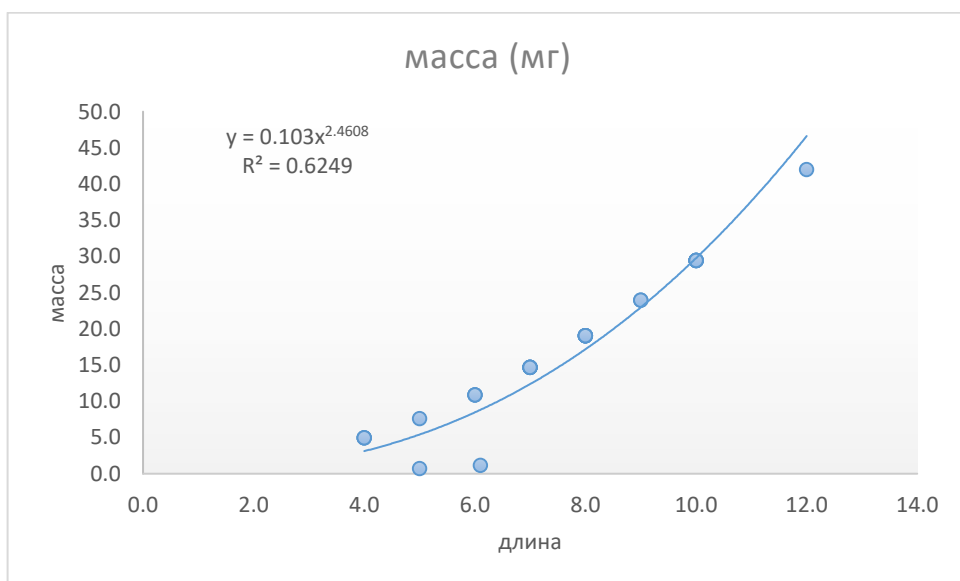


Рис.3.2.1. Соотношение длины и веса для Thysanoessa spp, Apherusa glacialis.

3.3. Биомасса зоопланктона.

Биомассу зоопланктона рассчитывали по образцам формальдегида. Всего было проанализировано 20 станций. Результаты биомассы зоопланктона и вклада основных групп в общую биомассу показаны на Рис.3.3.



Рис.3.3. самая высокая биомасса (174) и самая низкая биомасса (189) главной зоопланктонной станции.

Наибольшая биомасса макрозоопланктона была на станции 174 (220,71 мг м⁻³), которая находилась на 70 ° 15,005 'северной широты, 165 ° 00,138' восточной долготы. Самая низкая биомасса была на самой северной станции 189 (2,042 мг / м³). Однако на других станциях средняя биомасса составляла 2-40 мг / м³).

Ожидается, что к 2080–2100 годам температура поверхности моря повысится в среднем на 2 °C во всем мире. Некоторые из последствий этого увеличения включают изменения в циркуляции океана и более высокую стратификацию водной толщи, что влияет на доступность питательных веществ для роста морского планктона. В целом, по оценкам, повышение температуры моря приведет к снижению биомассы зоопланктона на 6% и 11% соответственно. Это говорит о том, что произойдет отрицательное усиление изменения климата, которое будет распространяться через морскую пищевую сеть, то есть биомасса зоопланктона сократится больше, чем фитопланктона. Этот процесс будет происходить в основном в тропических океанах, которые покрывают 47% поверхности мирового океана. (Azti-Tecnalia researcher Guillem Chust:2014)

В Северном Ледовитом океане в биомассе зоопланктона часто доминируют рачки-каланоиды (Auel, Hagen, 2002; Нор et al., 2019), на долю которых приходится около 80% биомассы мезозоопланктона (Кособокова, 2012; Кособокова, Hirche, 2000). С размером ячейки 0,33 мм в RMT1. мелкие виды веслоногих рачков (например, *Oithona* spp.), вероятно, не собирались количественно. Копеподы > 0,3 мм в основном ожидаются во фракциях 500 мкм и 1000 мкм. Самки крупных видов (*Calanus* spp.) Можно ожидать во фракциях размером 2000 мкм, а еще более крупных видов (*Pareuchaetha*, *Calanus hyperboreus*) - во фракциях размером 4000 мкм.

Вклад фракции 500 мкм был самым высоким на шельфе (около 90%). Следует отметить, что фракция 1000 мкм отсутствовала. Можно предположить, что сток Сибирского моря принес очень мелкие виды в большом количестве на конце шельфа. На остальных станциях фракция 1000 мкм внесла большой вклад - от 20,3% до 63,0%. Эта фракция может быть отнесена к виду веслоногих рачков *C.*

glacialis. В этой размерной фракции можно ожидать самок крупных видов (*Calanus* spp.). И даже более крупный вид *C. hyperboreus* во фракции размером 4000 мкм может быть. По литературным данным, вклад *C. hyperboreus* увеличивается в глубоководных районах (Кособокова, 2012).

Данные моего исследования показывают низкие значения биомассы в Северном Ледовитом океане, однако самая высокая биомасса наблюдалась на станции 174 в Северном Ледовитом Океане. перед отбором проб зоопланктон потреблял и первичные продукты, увеличивая биомассу. К сожалению, в данном исследовании мезозоопланктона не было результатов для этих станций, не удалось рассчитать общую биомассу. Однако, исходя из высокой биомассы макрозоопланктона, можно предположить общую высокую биомассу на этих станциях. Согласно полученным данным, высокая биомасса зоопланктона при статической температуре была средней. малая биомасса станции (189), не было специфического изменения температуры (диапазон температур -4,25 - 1,45)

статистический анализ-регрессионный анализ биомассы по сравнению с длиной (среднее значение)

Я получил все данные о биомассе в лаборатории в соответствии с моими расчетами и наблюдениями за образцом. Для подтверждения достоверности данных был проведен статистический анализ. Представляя всю станцию, я выбрал *Chaetognatha* spp. Полученный результат показывает соответствие в среднем по бимасам и длине *Chaetognatha* spp.

регрессионный анализ

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.977
R Square	0.9546
Adjusted R Square	0.9521
Standard Error	1.2395
Observations	20

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	582.0563	582.0563	378.8208	0.0067
Residual	18	27.6569	1.5364		
Total	19	609.7132			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Biomass(mg)	16.7638	0.5108	32.817	0.001	15.6906	17.837
Length(mm)	1.6341	0.0839	19.4633	0.0025	1.4577	1.8104

Таблица.3.3.Резюме регрессионного анализа

R Square равняется 0,95462, что очень хорошо подходит. 95% вариации биомассы объясняется независимой переменной длиной. Чем ближе к 1, тем лучше линия регрессии соответствует данным. Значение F составляет 0,0067. Если это значение меньше 0,05, все в порядке.

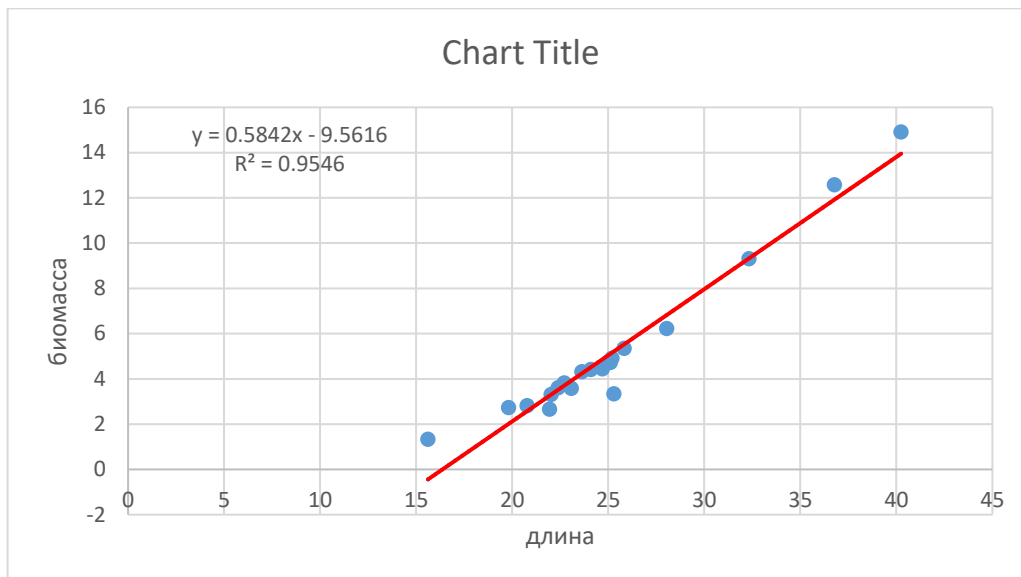


Рисунок 3.3.1. точечная диаграмма регрессионного анализа (chaetognatha)

3.4. температура поверхности И солёность в районах исследований

Обеспокоенность изменением климата возродила интерес к универсальной экологической реакции на колебания температуры. В этом исследовании я использовал веслоногих рачков в качестве модельных организмов для изучения реакции размера на температуру из-за их центральной роли в пелагической пищевой сети. вызванные сдвиги в сторону меньшего размера тела и более низкой численности в условиях потепления с использованием планктона из сибирского моря были выполнены в 2019 году. Общая численность веслоногих ракообразных, размер веслоногих на всех стадиях жизни и размер взрослых веслоногих в частности, продемонстрировали значительные температурные эффекты.

станция	долгота	широта	ТПО /°С	Соленость(psu)
87	79° 47.956' N	104° 32.767' E	-1.29	32.32
94	78° 12.007' N	110° 47.682' E	-4.03	30.04
100	79° 34.985' N	126° 00.318' E	-0.17	30.23
107	77° 58.696' N	126° 00.136' E	-4.18	33.87
160	77° 59.007' N	155° 30.227' E	-3.27	32.45
163	76° 29.926' N	155° 30.098' E	0.01	31.09
169	73° 14.046' N	155° 29.923' E	-0.05	34.00
173	71° 43.014' N	155° 30.045' E	2.19	33.23
174	70° 15.005' N	165° 00.138' E	-0.54	31.45
177	72° 45.011' N	164° 59.829' E	1.02	33.34
180	75° 10.072' N	165° 00.228' E	-0.18	32.78
182	76° 17.986' N	161° 50.092' E	-3.83	32.45
185	76° 40.017' N	167° 00.559' E	0.33	31.29
187	76° 54.985' N	169° 37.992' E	0.45	31.59
189	75° 54.001' N	175° 18.210' E	-0.61	32.45
192	74° 44.810' N	175° 17.987' E	-4.49	32.34
195	72° 46.331' N	175° 18.045' E	2.06	30.67
197	71° 14.977' N	175° 17.222' E	-0.49	30.78
199	65° 54.547' N	169° 21.961' W	1.87	33.12
201	65° 49.988' N	169° 08.164' W	3.41	33.25

Таблица 3.4. Температура поверхности моря и соленость поверхности моря для всех станций

Северный Ледовитый Океан очень чувствителен к изменению условий окружающей среды. Его поверхностный слой является ключевым компонентом арктической климатической системы, которая представляет собой динамическую и термодинамическую связь между атмосферой и подстилающими водами [Carmack, 2000]. Стабильность и развитие ледяного покрова связаны с толщиной смешанного слоя, соленостью верхнего слоя и верхним галоклином, которые влияют на географическое распределение морского льда и его изменчивость. В этом контексте поверхностный слой

Северного Ледовитого Океана является критическим индикатором изменения климата в Арктике [Захаров, 1996].

Термохалинная структура приземного слоя Северного Ледовитого Океана в последние годы претерпела значительные изменения. Особый интерес представляет сильное опреснение поверхностного слоя Канадской котловины, которое не наблюдалось с 1950 года [Тимохов и др., 2011] до начала 1990-х годов. Однако в работе Jackson et al. [2012] подчеркивалось, что процессы, связанные с потеплением и опреснением поверхностного слоя в этом регионе, изменили структуру водных масс верхних 100 м.

Изменение содержания и распределения пресной воды в Арктике имеет серьезные последствия для циркуляции океана, климата, водных и биогеохимических циклов. Скудность измерений солености на месте в Северном Ледовитом Океане ограничила наши возможности по изучению изменчивости пресной воды в Северном Ледовитом Океане. Хотя спутниковые данные о высоте поверхности моря (SSH) и давлении на дне океана (OBP) использовались вместе для вывода интегрированных по глубине изменений содержания пресной воды, эти измерения ограничены по выборке и разрешающей способности. На арктических шельфах коэффициент линейной регрессии между SSS и SSH-минус-OBP составляет -0,3 пс / см или больше по величине. Результаты показывают, что SSS является хорошим показателем изменений пресной воды в Арктике, а спутниковый SSH-minus-OBP можно использовать для оценки качества спутникового SSS. (Séverine Fournier Tong Lee Xiaochun Wang).

Северный Ледовитый Океан, как правило, свежее, чем другие океаны, где-то между 29 и 34 psu, но уровни солености различаются в зависимости от региона, а в районах с сильным притоком рек может быть даже более низкая соленость.

1. Когда образуются кристаллы льда, соль накапливается в каплях, называемых рассолом, которые обычно выбрасываются обратно в океан. Это повышает соленость приповерхностных вод. Некоторые капли рассола застревают в

карманах между кристаллами льда. Эти капли соленые, а лед вокруг них - нет. Рассол остается в жидком состоянии, поскольку для его замерзания потребуются более низкие температуры. На этом этапе морской лед имеет высокое содержание соли. Со временем рассол стекает, оставляя воздушные карманы, и соленость морского льда уменьшается. Рассол может вытекать из морского льда по-разному: под действием силы тяжести рассол перемещается вниз через отверстия и каналы во льду, в конечном итоге стекая обратно в океан.

2. Лед, окружающий рассол, сжимает и разрушает карманы рассола, позволяя рассолу уйти в океан.

3. Когда летом начинает таять морской лед, на верхнем слое льда образуются небольшие пресноводные водоемы (так называемые талые пруды). Эта пресная вода проходит через трещины и отверстия во льду, вымывая оставшийся рассол.

4. Когда поверхность морского льда остывает, соленость рассола увеличивается до точки, при которой он может растопить лед на его нижней стороне. Это приводит к нисходящей миграции капель рассола, в конечном итоге позволяя рассолу уйти в океан под ледяной покров.

4. Анализ

4.1. Влияние биомассы на изменение температуры.

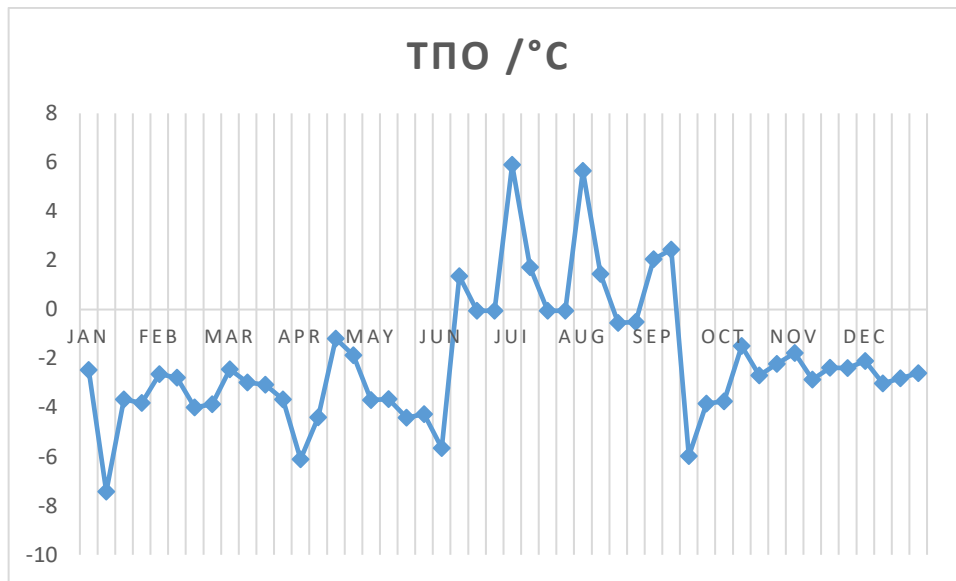


Рисунок 4.1. изменение температуры поверхности моря на станции 174 в 2019 г.(изменение температуры максимальная станция биомассы)

Согласно графику и данным(Рис.3.2.1.), максимальная температура поверхности составляет $5,9^{\circ}\text{C}$ (июль), а минимальная температура поверхности составляет $-7,43^{\circ}\text{C}$ (январь). Станция 174 (70°N 165°E) расположена в южной части восточно-сибирского моря. средняя приземная температура на станции составляет $-2,05^{\circ}\text{C}$ в 2019 году. Я исследовал, что на этой станции самая высокая биомасса и самая высокая численность.

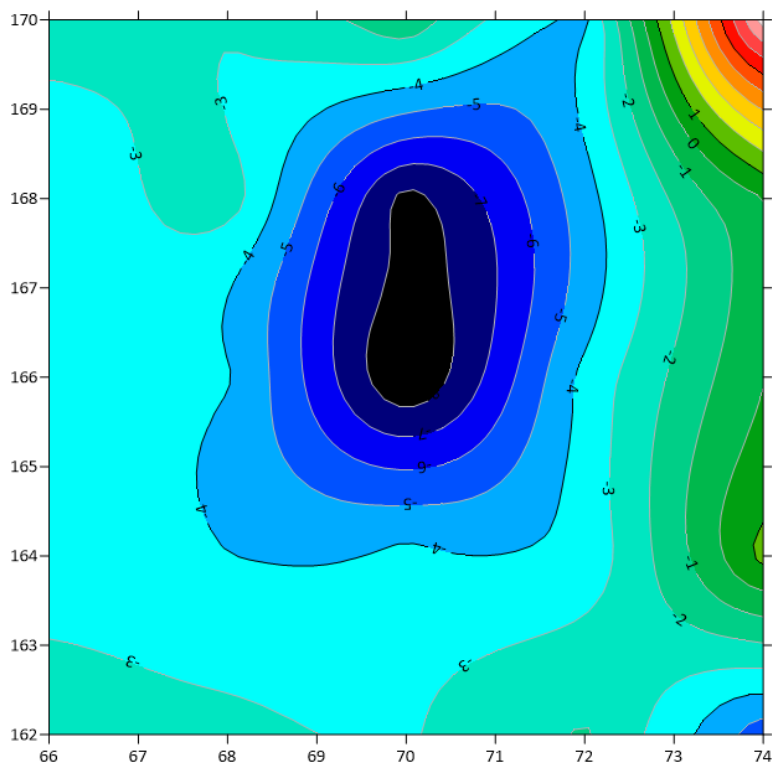


Рис.4.1.1.распределение температуры поверхности моря на станции максимальной биомассы в сентябре.

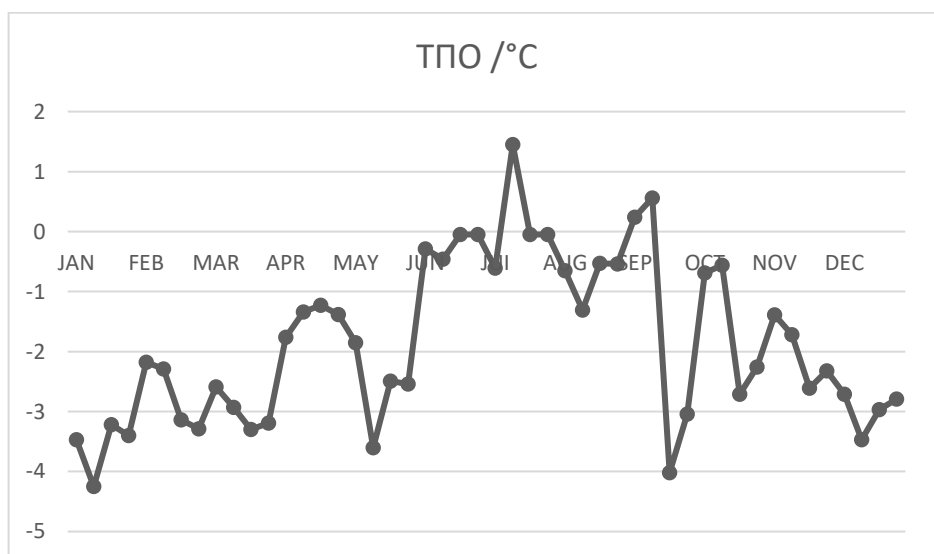
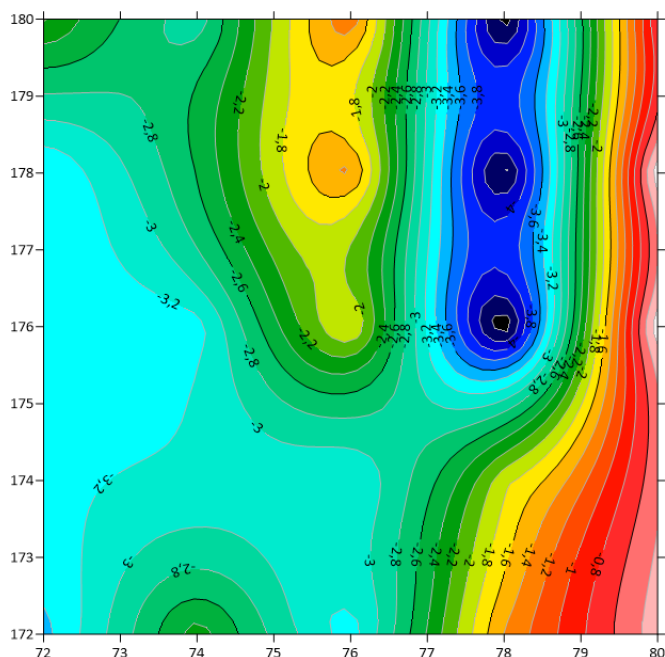


рисунок 4.1.2 изменение температуры поверхности моря на станции 189 в 2019 г.(изменение температуры минимальная станция биомассы)

Согласно исследованным, станция 189 имела самую низкую биомассу. станция 189 (75N 175E) расположена в северной части восточно-сибирского моря. самая высокая температура поверхности 1,45 °C (июль), а самая низкая температура

поверхности - 4,25°C (январь). средняя температура поверхности станции - 1,85°C в 2019 г.



крайностями, с обогащением питательными веществами ключевой детерминант. Под холодным, хорошо перемешанным, и турбулентных условиях, поверхностные воды изобилуют питательных веществ, в сообществе фитопланктона преобладают центрических диатомовых водорослей, и отношение новой продукции к общему количеству производства высокое. В этих условиях зоопланктон преобладают ракообразные, например, крупные веслоногие ракообразные. Эта короткая и эффективная пищевая сеть богата питательными веществами и поддерживает большое количество планктонных и рыбоядных рыб, морских птиц, и морские млекопитающие. Напротив, под теплым, стратифицированным и стабильные условия, поверхностные воды обеднены питательными веществами, в сообществе фитопланктона преобладают пикопланктон и жгутиконосцы, а трофодинамика зависит от рециркулируемого азота. Эти условия часто приводят к тому, что в зоопланктоне преобладают студенистый зоопланктон (сальпы, долиолиды, гребневики) и мелкие ракообразные. Эта длинная, неэффективная пищевая сеть бедна питательными веществами. качества, поддерживая гораздо меньшую биомассу более высоких трофических уровни. Таким образом, степень обогащения питательными веществами является ключевым фактором. типа присутствующей пищевой сети.

Температура поверхности является хорошим показателем обогащения питательными веществами океан. Потепление поверхностных вод делает толщу воды более стабильный, усиливающий расслоение и требующий больше энергии для смешивания глубокой, богатой питательными веществами воды с поверхностными слоями. Таким образом, температура является мощным показателем для описания структуры и функционирования морских систем. Это принципиально отличается от наземных систем, где нет такой прямой связи между температурой, доступностью питательных веществ и характеристиками экосистемы; вместо этого гораздо важнее осадки.

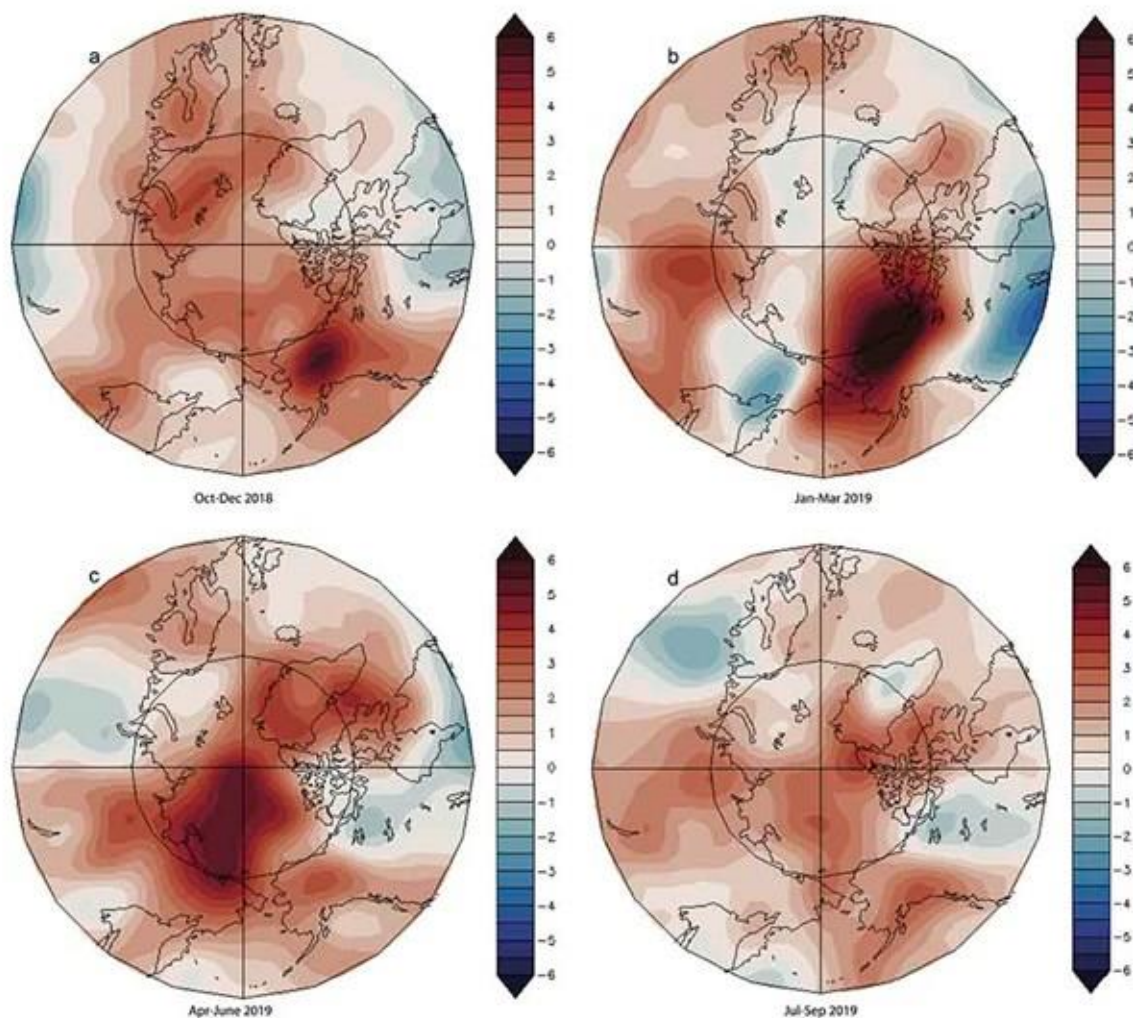


Рис. 4.2. Сезонные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}$ C) осенью 2018 г. (a), зимой 2019 г. (b), весной 2019 г. (c) и летом 2019 г. (d).

Температура приземного воздуха в Арктике является индикатором как регионального, так и глобального изменения климата. Несмотря на то, что существуют межгодовые и региональные различия в температурах воздуха, обусловленные естественной изменчивостью, масштабы, устойчивость и характер недавнего повышения температуры в масштабах всей Арктики являются индикаторами глобального изменения климата в результате увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере (Overland 2009). ; Notz and Stroeve 2016). Повышение температуры атмосферы также является движущей силой арктических изменений в океане и на суше. Линейная зависимость между глобальным изменением температуры и уменьшением площади морского льда в Арктике предполагает прямое воздействие на климат

(Mahlstein and Knutti 2012). Точно так же озеленение тундры, особенно вдоль береговой линии, и потеря массы ледников также являются результатом повышения температуры воздуха.

Температура поверхности моря (ТПО) в Северном Ледовитом Океане определяется в основном количеством поступающей солнечной радиации, поглощаемой поверхностью моря. средние температуры поверхности моря (ТПО) в 2019 г. были на $\sim 1-7^{\circ}\text{C}$ выше, чем в 1982-2010 гг. моря Бофорта, Чукотского моря, моря Лаптевых и Баффинова залива, а также на $\sim 0,5-2^{\circ}\text{C}$ ниже в регионе Баренцева моря (М. -Л. Тиммерманс и К. Лэдд) ТПО с 1982 по 2019 г. Северный Ледовитый Океан, линейные тренды потепления до $+1^{\circ}\text{C}$ за десятилетие.

По данным с сайта columbia.edu, температура поверхностных вод понижается с юга на север. Зимой она колеблется от $-0,2$ до $0,6^{\circ}\text{C}$ в дельтах рек и от $-1,7$ до $-1,8^{\circ}\text{C}$ в северной части моря. Летом она прогревается до $7-8^{\circ}\text{C}$ в заливах и бухтах и до $2-3^{\circ}\text{C}$ в незамерзающих морских зонах.

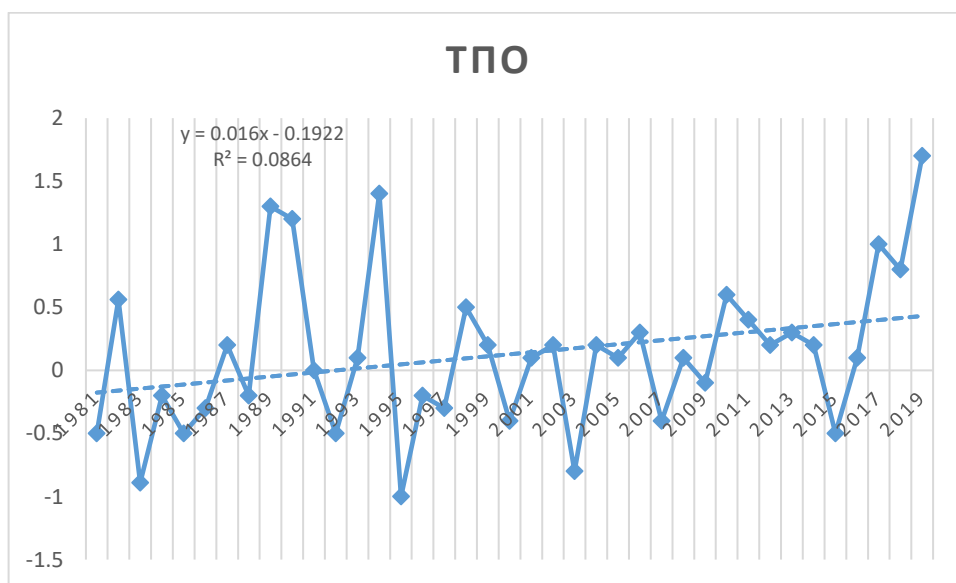


рисунок 4.2.1 изменение температуры поверхности моря в Северном Ледовитом Океане (1981-2019 гг.)

В течение 1981–2019 гг. Наблюдалось значительное общее потепление на $\sim 0,5-2^{\circ}\text{C}$, которое, как правило, было сосредоточено в районах, удаленных от

крайнего юга (высокая биомасса в районе станции (70N, 165E). Высокая температура поверхности моря за весь период составляет 1,7 ° C и низкая температура морской поверхности -1 ° C.

Согласно обновленному анализу записей арктических станций показывает сильное и значительное потепление с 1995 г. во все сезоны; тем не менее, анализ тенденций за 1981–2019 годы подчеркивает компенсацию краткосрочного потепления и похолодания до и после 1995 года, что не дает существенного изменения чистой температуры на большинстве станций. после 2017 года это немного повысит температуру.

4.3. изменение солёности в Северном Ледовитом океане

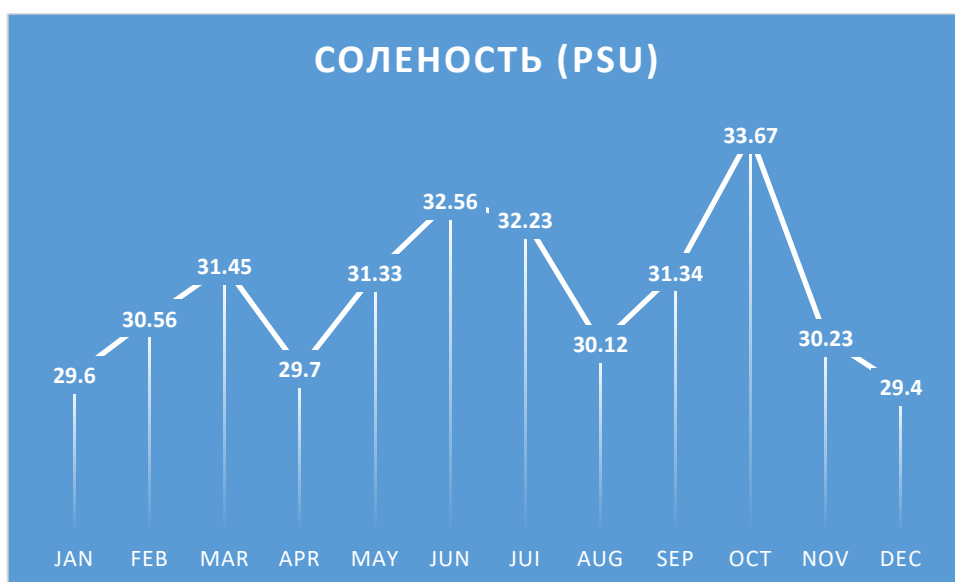


Рисунок 4 .3.1. Средняя солёность морской поверхности в 2019 г.

Средняя солёность Океана обычно колеблется от 32 до 37 psu, но в полярных регионах она может быть менее 30 psu. Хлорид натрия (поваренная соль) является самой распространенной из многих солей, обнаруженных в океане, в арктическом регионе анализируется в области высокой биомассы (станция 174) в Северном Ледовитом океане в 2019 году. Затем он показывает, что высокая солёность в октябре и ниже солёность в декабре (Рисунок 4 .3.1), но исследования 1981-2019 гг. в арктическом регионе средняя солёность

колеблется от 29-31psu (Рисунок 4.3.2.). это показывает положительные тенденции.

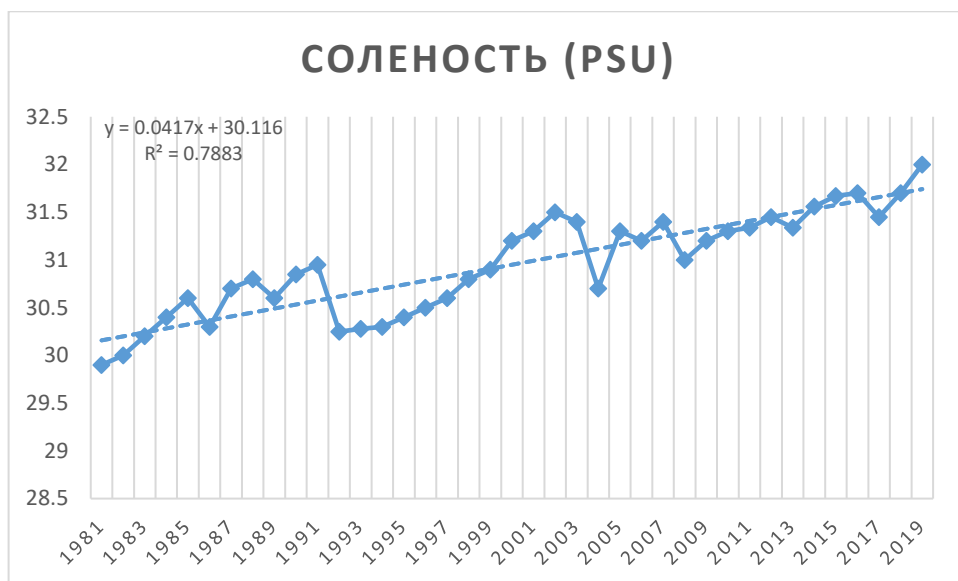


Рисунок 4.3.2. Изменение средней солености морской поверхности в 1981-2019 гг.

Согласно обновленному анализу записей арктических станций показывает сильное и значительное повышение солености, чем отчетливо демонстрирует положительные тенденции.

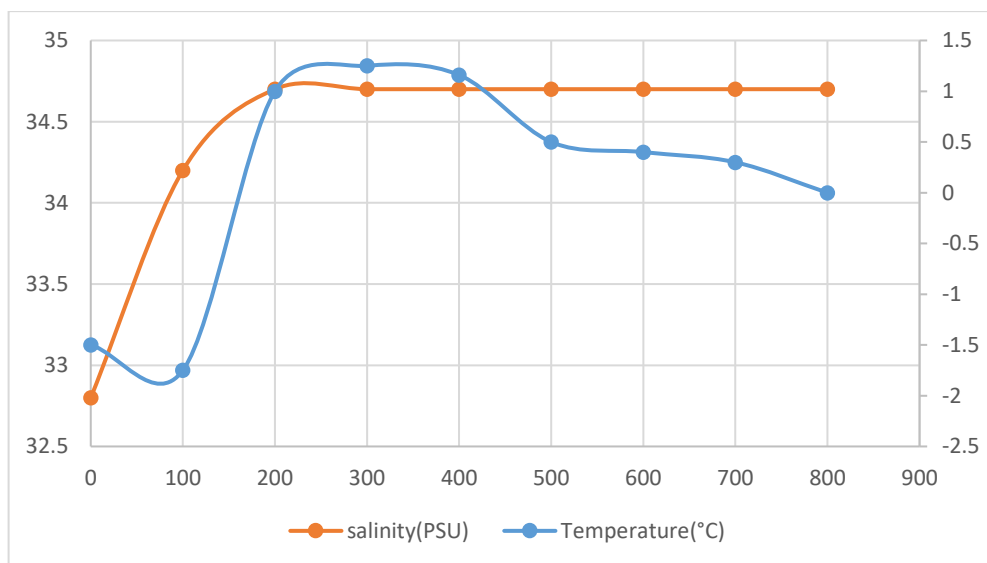


Рисунок 4.3.3. график температуры и солености морской воды в Арктике

5. Заключение

Изучение изменчивости таксономического состава и биомассы зоопланктона в Северном Ледовитом океане на 20 станциях показало достоверное изменение температуры в зависимости от биомассы зоопланктона. Данные этого исследования подтверждают, что указанное уменьшение размеров и продуктивности зоопланктона было связано с изменением климата. Реорганизация сообщества зоопланктона с потеплением может изменить взаимодействие сообществ и поток энергии через целые водные пищевые сети.

Изучение температуры морской воды и солёности Северного Ледовитого океана. Результаты показали значительное изменение температуры и солёности с 1981 по 2019 год. Данные о солёности этого исследования подтверждают, что последние 20 лет показали рост. Соль играет важную роль в циркуляции океана. В холодных полярных регионах изменения солёности влияют на плотность океана больше, чем изменения температуры. Когда соль выбрасывается в океан при образовании морского льда, солёность воды увеличивается. Поскольку солёная вода тяжелее, плотность воды увеличивается, и вода тонет. Обмен соли между морским льдом и океаном влияет на циркуляцию океана на протяжении сотен километров.

Данные о температуре поверхности моря, полученные в результате этого исследования, подтверждают, что за последние 20 лет температура приземного воздуха в Арктике повысилась примерно в два раза быстрее, чем в мире. Среднегодовая температура приземного воздуха в Арктике была как минимум на 1 ° C (1,8 ° F) выше, чем перед. Я полагаю, что это самая сильная связь погодных явлений с антропогенным изменением климата, которая когда-либо была обнаружена на данный момент. Изменение климата в Арктике вызывает серьезные экологические проблемы. Эти последствия имеют широкий диапазон и можно наблюдать во многих арктических системах, от фауны и флоры до территориальных притязаний. Температура в этом регионе повышается вдвое быстрее, чем где-либо на Земле, что приводит к ухудшению этих эффектов из

года в год и вызывает серьезную озабоченность. Изменяющаяся Арктика имеет глобальные последствия, возможно, через изменения циркуляции океана или усиление арктических условий.

6 .Список литературы

Arctic Climate Impact Assessment, by Arctic Climate Impact Assessment, pp. 144. ISBN 0521617782.

Gardner, J. L. et al. 2011. Declining body size: A third universal response to warming? - Trends Ecol. Evol. 26: 285-291.

Gasol, J. M. et al. 1997. Biomass distribution in marine planktonic communities. - Limnol. Oceanogr. 42: 1356-1363.

Gaudy, R. and Verriopoulos, G. 2004. Spatial and seasonal variations in size, body volume and body proportion (prosoma : Urosome ratio) of the copepod *acartia tonsa* in a semi-closed ecosystem (Berre lagoon, western mediterranean). - Hydrobiologia 513: 219-229.

Geider, R. J. and La Roche, J. 2002. Redfield revisited: variability of C:N:P in marine microalgae and its biochemical basis. - Eur. J. Phycol. 37: 1-17.

Gienapp, P. et al. 2008. Climate change and evolution: Disentangling environmental and genetic responses. - Molecular Ecology 17: 167-178.

Gilbert, B. et al. 2014. A bioenergetic framework for the temperature dependence of trophic interactions. - Ecol. Lett. 17: 902-914.

Gismervik, I. et al. 2002. Micro- and mesozooplankton response to enhanced nutrient input - a mesocosm study. - Hydrobiologia 484: 75-87.

Goodman, R. E. et al. 2012. Avian body size changes and climate change: warming or increasing variability? - Glob. Chang. Biol. 18: 63-73.

Goss, L. B. and Bunting, D. L. 1980. Temperature effects on zooplankton respiration. - Comp. Biochem. Phys. B 66 A: 651-658.

Guillard, R. R. and Ryther, J. H. 1962. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Husted, and *Detonula confervacea* (Cleve) Grun. - Can. J. Microbiol. 8: 229-239.

- Hansen, J. et al. 2010. Global surface temperature change. - Rev. Geophys. 48: RG4004.
- Hansen, J. et al. 2014. Global temperature update through 2013.
- Hansen, J. et al. 2006. Global temperature change. - Proceedings of the National Academy of Sciences 103: 14288-14293.
- Hansson, I. 1973. A new set of acidity constants for carbonic acid and boric acid in sea water. - Deep- Sea Res. 20: 461-478.
- Harley, C. D. G. et al. 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. - Ecol. Lett. 9: 228-241.
- Havenhand, J. N. 2012. How will ocean acidification affect Baltic Sea ecosystems? An assessment of plausible impacts on key functional groups. - Amibo 41: 637-644.
- Heinle, D. R. and Flemer, D. A. 1975. Carbon requirements of a population of the estuarine copepod *eurytemora affinis*. - Mar. Biol. 31: 235-247.
- Hillebrand, H. et al. 1999. Biovolume calculations for pelagic and benthic microalgae. - J. Phycol. 35: 403-424.
- Cleland, E. E. et al. 2007. Shifting plant phenology in response to global change. - Trends Ecol. Evol. 22: 357-365.
- Clemmesen, C. 1993. Improvements in the fluorimetric determination of the RNA and DNA content of the individual marine fish larvae. - Mar. Ecol. Prog. Ser. 100: 177-183.
- Cottingham, K. L. et al. 2005. Knowing when to draw the line: designing more informative ecological experiments. - Front. Ecol. Environ. 3: 145-152.
- Darchambeau, F. et al. 2003. How *Daphnia* copes with excess carbon in its food. - Oecologia 136: 336-346.
- Daufresne, M. et al. 2009. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. - P. Natl. Acad. Sci. USA 106: 12788-12793.

- DeMott, W. R. 2003. Implications of element deficits for zooplankton growth. - *Hydrobiologia* 491: 177-184.
- DeMott, W. R. et al. 1998. Effects of phosphorus-deficient diets on the carbon and phosphorus balance of *Daphnia magna*. - *Limnol. Oceanogr.* 43: 1147-1161.
- DeMott, W. R. and Tessier, A. J. 2002. Stoichiometric constraints vs. algal defenses: testing mechanisms of zooplankton food limitations. - *Ecology* 83: 3426-3433.
- Arctic Climate Impact Assessment, by Arctic Climate Impact Assessment, pp. 144. ISBN 0521617782.
- Cambridge, UK: Cambridge University Press, December 2004. 144 p .Cambridge University Press, Cambridge
- Auel H., Hagen W., (2002) Mesozooplankton community structure, abundance and biomass in the central Arctic Ocean. *Marine Biology*, 140(5), 1013-1021.
- Baker A., Clarke M., Harris M.,(1973). The NIO combination net (RMT 1+ 8) and further developments of Rectangular midwater trawls. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 53(1), 167-184.
- Beklemishev K, (1969). Pelagic ecology and biogeography (in Russian).M: Nauka, .291p
- Bluhm B., Gradinger R., Piraino S. (2007). First record of sympagic hydroids (Hydrozoa, Cnidaria) in Arctic coastal fast ice. *Polar Biology*, 30(12), 1557-1563.
- Böer M., Gannefors C., Kattner G., Graeve M., Hop H., Falk-Petersen S. (2005) The Arctic pteropod *Clione limacina*: seasonal lipid dynamics and life-strategy. *Marine biology*, 147(3), 707-717.
- Bogorov V., (1938) Biological seasons of the polar sea (in Russian). In Doc. of the USSR Academy of Sciences (Vol. 19, No. 8, pp. 639-642)

- Booth B., Horner R., (1997). Microalgae on the Arctic Ocean Section, 1994: species abundance and biomass. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 44(8), 1607-1622.
- Brodsky K., (1956) Life in the water column of the Polar basin (in Russian). *Priroda*, (5), 41-48.
- Brodsky K., Nikitin M., (1955) Hydrobiological works: Observation materials of the research drifting station 1950/51 year (in Russian). L.: Sea transport, 1-464.
- Buchholz F., Werner T. & Buchholz C. (2012). First observation of krill spawning in the High Arctic Kongsfjorden, west Spitsbergen. *Polar Biology* 35, 1273–1279.
- Budge S., Wooller M., Springer A., Iverson S., McRoy C., Divoky G., (2008). Tracing carbon flow in an arctic marine food web using fatty acid-stable isotope analysis. *Oecologia*, 157(1), 117-129.
- Carey Jr A. (1992). The ice fauna in the shallow southwestern Beaufort Sea, Arctic Ocean. *Journal of marine systems*, 3(3), 225-236.
- Carmack E., (1990) Large-scale physical oceanography of polar oceans. *Polar Oceanography (Part A)*, 171-222.
- Coachman L., Barnes C., (1961) the contribution of Bering Sea water to the Arctic Ocean. *Arctic*, 14(3), 147-161.
- Coachman L., Barnes C., (1962) Surface water in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean. *Arctic*, 15(4), 251-278.
- Coachman L., Barnes C, (1963) the movement of Atlantic water in the Arctic Ocean. *Arctic*, 16(1), 8-16.
- Conover R., (1988). Comparative life histories in the genera *Calanus* and *Neocalanus* in high latitudes of the northern hemisphere. *Hydrobiologia*, 167(1), 127-142.
- Conover R., Huntley M., (1991). Copepods in ice-covered seas—distribution, adaptations to seasonally limited food, metabolism, growth patterns and life cycle strategies in polar seas. *Journal of Marine Systems*, 2(1-2), 1-41.

Dalpadado, P. (2002). Inter-specific variations in distribution, abundance and possible life-cycle patterns of *Themisto* spp. (Amphipoda) in the Barents Sea. *Polar Biol.* 25, 656–666.

Dalpadado, P., Borkner, N., Bogstad, B., and Mehl, S. (2001). Distribution of *Themisto* (Amphipoda) spp. in the Barents Sea and predator-prey interactions. *ICES J. Mar. Sci.* 58, 876–895. doi:10.1006/jmsc.2001.1078

Dalpadado P., Ingvaldsen R.B., Stige L.C., Bogstad B., Knutsen T., Ottersen G., Ellertsen B. (2012). Climate effects on Barents Sea ecosystem dynamics. *ICES Journal of Marine Science* 69, 1303–1316

Darnis G., Robert D., Pomerleau C., Link H., Archambault P., Nelson R. J., Hunt B., (2012). Current state and trends in Canadian Arctic marine ecosystems: II. Heterotrophic food web, pelagic-benthic coupling, and biodiversity.

Climatic Change, 115(1), 179-205. David C., Lange B., Rabe B., Flores H., (2015). Community structure of under-ice fauna in the Eurasian central Arctic Ocean in relation to environmental properties of sea-ice habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 522, 15-32.

Daufresne M., Lengfellner K., Sommer U. (2009). Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 106, 12788–12793.

Donnelly J, Torres J. J., Hopkins T. L., Lancraft T. M., (1994). Chemical composition of Antarctic zooplankton during austral fall and winter. *Polar Biology*, 14(3), 171-183.

Elser, J. J. et al. 2001. Nutrient limitation reduces food quality for zooplankton: *Daphnia* response to seston phosphorus enrichment. - *Ecology* 82: 898-903.

Elser, J. J. et al. 2000. The evolution of ecosystem processes: growth rate and elemental stoichiometry of a key herbivore in temperate and arctic habitats. - *J. Evol. Biol.* 13: 845-853.

- Eppley, R. W. 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea. - *Fish. B.* 70: 1063-1085.
- Escribano, R. and McLaren, I. A. 1992. Influence of food and temperature on lengths and weights of 2 marine copepods. - *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 159: 77-88.
- Folt, C. L. et al. 1999. Synergism and antagonism among multiple stressors. - *Limnol. Oceanogr.* 44: 864-877.
- Forster, J. and Hirst, A. G. 2012. The Temperature-Size rule emerges from ontogenetic differences between growth and development rates. - *Funct. Ecol.* 26: 483-492.
- Dunbar M., Harding G., (1968) Arctic Ocean water masses and plankton—a reappraisal. Arctic drifting Stations: a report on activities supported by the Office of Naval research. Arctic Institute of North America, 315-326.
- Ekman S., (1953). Zoogeography of the sea (Vol. 9). Sidgwick and Jackson, 417p
- Ershova E., Kosobokova K. (2019). Cross-shelf structure and distribution of mesozooplankton Communities in the East-Siberian Sea and the adjacent Arctic Ocean. *Polar Biology*, 42(7), 1353-1367.
- Falk-Petersen S., Sargent J.R., Hopkins C.C.E. (1990). Trophic relationships in the pelagic Arctic food web.
- In M. Barnes & R.N. Gibson (eds.): Trophic relationships in the marine environment. Pp. 315–333.
- Aberdeen: Scotland University Press Fernández-Méndez M., (2014). Primary productivity in Arctic sea ice and ocean (Doctoral dissertation, Staats-und Universitätsbibliothek Bremen).
- Fernández-Méndez M., Katlein C., Rabe B., Nicolaus M., Peeken I., Bakker K., Boetius, A., (2015).

- Photosynthetic production in the central Arctic Ocean during the record sea-ice minimum in 2012. *Biogeosciences*, 12(11), 3525-3549.
- Flores H., Julia Ehrlich J., Lange B., Erik Sulanke E., Niehoff B., Hildebrand N., Doble M., Schaafsma F., Meijboom A., Fey B., Kühn S., Bravo-Rebolledo E., van Dorssen M., Gradinger R., Hasset B., Kunisch E.,
- Kohlbach D., Graeve M., van Franeker J., Bluhm B. (2018) Under-ice fauna, zooplankton and endotherms (In: Macke, A. and Flores, H. (2018): The Expeditions PS106/1 and 2 of the Research Vessel POLARSTERN to the Arctic Ocean in 2017, *Berichte zur Polar- und Meeresforschung = Reports on polar and marine research*) Bremerhaven, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, 719, 123-133, doi: 10.2312/BzPM_0719_2018
- Flores H., David C., Ehrlich J., Hardge K., Kohlbach D., Lange B. A., Metfies K., (2019). Sea-ice properties and nutrient concentration as drivers of the taxonomic and trophic structure of high-Arctic protist and metazoan communities. *Polar Biology*, 42(7), 1377-1395.
- Frandsen M.S., Fort J., Rigét F.F., Galatius A., Mosbech A. (2014). Composition of chick meals from one of the main little auk (*Alle alle*) breeding colonies in northwest Greenland. *Polar Biology* 37, 1055–1060.
- Friedrich C., (1997). Ökologische Untersuchungen zur Fauna des arktischen Meereises. *Ber. Zur Polarforschung*, V.246, 1-211
- Garrison D. L., Buck, K., (1991). Surface-layer sea ice assemblages in Antarctic pack ice during the austral spring: environmental conditions, primary production and community structure. *Marine Ecology Progress Series*, 161-172.
- Gorshkov, S., (1983) *World Ocean Atlas III. Arctic Ocean*. Oxford: Pergamon Press, 218 p
- Gosselin M., Levasseur M., Wheeler P. A., Horner R. A., Booth B., (1997). New measurements of phytoplankton and ice algal production in the Arctic Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 44(8), 1623-1644.

- Gradinger R., (1999). Integrated abundance and biomass of sympagic meiofauna in Arctic and Antarctic pack ice. *Polar Biology*, 22(3), 169-177.
- Gradinger R. (2009). Sea-ice algae: Major contributors to primary production and algal biomass in the Chukchi and Beaufort Seas during May/June 2002. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(17), 1201-1212.
- Harris R. K., Nishiyama T., Paul A. J. (1986) Carbon, nitrogen and caloric content of eggs, larvae, and juveniles of the walleye pollock, *Theragra chalcogramma*. *Journal of Fish Biology*, 29(1), 87-98.
- Haug T., Bogstad B., Chierici M., Gjøsæter H., Hallfredsson E.H., Høines Å.S., Hoel A.H., Ingvaldsen R.B., Jørgensen L.L., Knutsen T., Loeng H., Naustvoll L.J., Røttinger I. , Sunnanå K. (2017).
- Future harvest of living resources in the Arctic Ocean north of the Nordic and Barents seas: a review of possibilities and constraints. *Fisheries Research* 188, 38–57
- Heckmann L., Drossel B., Brose U., Guill C. (2012). Interactive effects of body-size structure and adaptive foraging on food-web stability. *Ecology Letters* 15, 243– 250.
- Hirche H. J., Kosobokova K. (2007). Distribution of *Calanus finmarchicus* in the northern North Atlantic and Arctic Ocean—expatriation and potential colonization. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 54(23-26), 2729-2747.
- Hop H., Assmy P., Wold A., Sundfjord A., Daase M., Duarte, P., Kristiansen S., (2019). Pelagic Ecosystem
- Characteristics across the Atlantic Water Boundary Current from Rijpfjorden, Svalbard, to the Arctic Ocean during summer (2010-2014). *Frontiers in Marine Science*, 6, 181.
- Hop H., Poltermann M., Lønne O. J., Falk-Petersen S., Korsnes R., Budgell W. P., (2000). Ice amphipod distribution relative to ice density and under-ice topography in the northern Barents Sea.
- Polar Biology*, 23(5), 357-367.

Hopcroft R., Clarke C., Nelson R., Raskoff K. (2005). Zooplankton communities of the Arctic's Canada

Basin: the contribution by smaller taxa. *Polar Biology*, 28(3), 198-206.

Motoda S., (1959). Devices of simple plankton apparatus. *Memoirs of the Faculty of Fisheries Hokkaido University*, 7(1-2), 73-94.

Mumm N., (1993) Composition and distribution of mesozooplankton in the Nansen Basin, Arctic Ocean, during summer. *Polar Biology*, 13(7), 451-461.

Mumm N., Auel H., Hanssen H., Hagen W., Richter C., Hirche H., (1998). Breaking the ice: large-scale distribution of mesozooplankton after a decade of Arctic and transpolar cruises. *Polar biology*, 20(3), 189-197.

Nansen F., (1902) Oceanography of the north polar ocean. Norwegian North Polar Expedition 1883-1896. Scientific Results V3 427p.

Newsome S., Clementz M., Koch P., (2010) Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology. *Marine Mammal Science*, 26(3), 509-572.

Nicolaus M., Katlein C., Maslanik J., Hendricks S., (2012). Changes in Arctic sea ice result in increasing light transmittance and absorption. *Geophysical Research Letters*, 39(24).

Nicolopoulos A., Heuze C., Linders T., Andree E., Sahlin A. (2018) Physical Oceanography (In: Macke A. and Flores H. (2018): The Expeditions PS106/1 and 2 of the Research Vessel POLARSTERN to the Arctic

Ocean in 2017, *Berichte zur Polar- und Meeresforschung* = Reports on polar and marine research) Bremerhaven, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, 719, 123-133, doi: 10.2312/BzPM_0719_2018.

Nikiforov E., Shpeikher A., (1980) Laws of formation of large-scale fluctuations of the hydrological regime of the Arctic Ocean (in Russian). *Hydrometeoizdate*, 269p

- Richter C. (1994). Regional and seasonal variability in the vertical distribution of mesozooplankton in the Greenland Sea. *Berichte zur Polarforschung* (Reports on Polar Research), 154.
- Piraino S., Bluhm B., Gradinger R., Boero F. (2008). *Sympagohydra tuuli* gen. nov. And sp. Nov. (Cnidaria: Hydrozoa) a cool hydroid from the Arctic sea ice. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88(8), 1637-1641.
- Richardson, A. J. (2008). In hot water: zooplankton and climate change. *ICES Journal of Marine Science*, 65(3), 279-295.
- Roe H. and Shale D. (1979). A new multiple rectangular midwater trawl (RMT 1+8M) and some modifications to the Institute of Oceanographic Sciences' RMT 1+8. *Marine Biology* 50, 283-288.
- Hirst, A. G. and Kiorboe, T. 2002. Mortality of marine planktonic copepods: Global rates and patterns. - *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 230: 195-209.
- Holste, L. and Peck, M. A. 2005. The effects of temperature and salinity on egg production and hatching success of baltic *acartia tonsa* (Copepoda: Calanoida): a laboratory investigation. - *Mar. Biol.* 148: 1061-1070.
- Houghton, J. T. 1996. *Climate change 1995: The science of climate change.* - Cambridge University Press, Cambridge.
- Huntley, M. E. and Lopez, M. D. G. 1992. Temperature-dependent production of marine copepods: A global synthesis. - *Am. Nat.* 140: 201-242.
- Ikeda, T. et al. 2000. *Metabolism.* - Academic Press.
- Ismar, S. M. H. et al. 2008. Effect of food concentration and type of diet on *Acartia* survival and naupliar development. - *Mar. Biol.* 154: 335-343.
- James, F. C. 1970. Geographic size variation in birds and its relationship to climate. - *Ecology* 51: 365-&.
- Jonasdottir, S. H. et al. 2009. Assessing the role of food quality in the production and hatching of *Temora longicornis* eggs. - *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 382: 139-150.

- Kim, J. M. et al. 2006. The effect of seawater CO₂ concentration on growth of a natural phytoplankton assemblage in a controlled mesocosm experiment. - *Limnol. Oceanogr.* 51: 1629-1636.
- Kiorboe, T. et al. 1985. Bioenergetics of the planktonic copepod *Acartia tonsa* - relation between feeding, egg-production and respiration, and composition of specific dynamic action. - *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 26: 85-97.
- Klein Breteler, W. C. M. and Schogt, N. 1994. Development of *Acartia clausi* (Copepoda, Calanoida) cultured at different conditions of temperature and food. - *Hydrobiologia* 292-293: 469-479 LA - English.
- Klein Breteler, W. C. M. et al. 1990. On the role of food quality in grazing and development of life stages and genetic change of body size during cultivation of pelagic copepods. - *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 135: 177-189.
- Kobari, T. and Ikeda, T. 2001. Ontogenetic vertical migration and life cycle of *Neocalanus plumchrus* (Crustacea: Copepoda) in the Oyashio region, with notes on regional variations in body sizes. - *J. Plankton Res.* 23: 287-302.
- Kordas, R. L. et al. 2011. Community ecology in a warming world: The influence of temperature on interspecific interactions in marine systems. - *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 400: 218-226.
- Koski, M. et al. 1998. Effect of food quality on rate of growth and development of the pelagic copepod *Pseudocalanus elongatus* (Copepoda, Calanoida). - *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 170: 169-187.
- Peter, K. H. and Sommer, U. 2012. Phytoplankton cell size: Intra- and interspecific effects of warming and grazing. - *PLoS one* 7.
- Pierrot, D. et al. 2006. CO₂sys dos program developed for CO₂ system calculations. - ORNL/CDIAC-105. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, TN.

- Plath, K. and Boersma, M. 2001. Mineral limitation of zooplankton: stoichiometric constraints and optimal foraging. - Ecology 82: 1260-1269.
- Pörtner, H. 2008. Ecosystem effects of ocean acidification in times of ocean warming: a physiologist's view. - Mar. Ecol. Prog. Ser. 373: 203-217.
- Przeslawski, R. et al. 2008. Beyond corals and fish: The effects of climate change on noncoral benthic invertebrates of tropical reefs. - Glob. Chang. Biol. 14: 2773-2795.
- Putt, M. and Stoecker, D. K. 1989. An experimentally determined carbon - volume ratio for marine oligotrichous ciliates from estuarine and coastal waters. - Limnol. Oceanogr. 34: 1097-1103.
- Virketis M., (1957) some data on zooplankton in the central part of the Arctic basin. Observations of the research drifting stations "North Pole - 3" and "North Pole - 4", 1954/55 years. (in Russian) L.: Morskoy transport, pp 238-342
- Virketis M., (1959) Materials on zooplankton in the central part of the Arctic basin. Research results of the research drifting stations "North Pole - 4" and "North Pole - 5", 1955/56 years.(in Russian) L.:
- Morskoy transport, pp 133-138
- Wang S., Budge S., Iken K., Gradinger R., Springer A., Wooller M. (2015) Importance of sympagic production to Bering Sea zooplankton as revealed from fatty acid-carbon stable isotope analyses. Mar Ecol Prog Ser 518:31–50
- Wassmann P (2011) Arctic marine ecosystem
- Wassmann P., Reigstad M., Haug T., Rudels B., Carroll M., Hop H., Gabrielsen G., Falk-Peterson S., Denisenko S., Arashkevich E., Slagstad D., Pavlova D. (2006). Food webs and carbon flux in the Barents Sea. Progress in Oceanography, 71(2-4), 232-287.
- Weigmann-Haass, R. (1997). Verbreitung von Makrozooplankton in der Grönlandsee im Spätherbst 1988

(Crustacea: Ostracoda, Hyperiidea [Amphipoda], Euphausiacea). *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 51, 69–82. doi: 10.1007/bf02908755

Werner I. (2000).

Faecal pellet production by Arctic under-ice amphipods—transfer of organic matter through the ice/water interface. *Hydrobiologia*, 426(1), 89-96.

Weslawski J.M., Stempniewicz L., Mehlum F. & Kwasniewski S (1999). Summer feeding strategy of the little auk *Alle alle* from Bjørnøya, Barents Sea.

Polar Biology 21, 129–134.

Weydmann A., Carstensen J., Goszczko I., Dmoch K., Olszewska A., Kwasniewski S. (2014).

Shift towards the dominance of boreal species in the Arctic: inter-annual and spatial zooplankton variability in the West Spitsbergen Current. *Marine Ecology Progress Series* 501, 41–52.

Woodgate R., Aagaard K., Muench R., Gunn J., Björk G., Rudels B., Roach A., Schauer U., (2001)

The Arctic Ocean boundary current along the Eurasian slope and the adjacent Lomonosov Ridge: Water mass properties, transports and transformations from moored instruments.

Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 48(8), 1757-1792.

Woodworth-Jefcoats P.A., Polovina J.J., Drazen J.C. (2016).

Climate change is projected to reduce carrying capacity and redistribute species richness in North Pacific pelagic marine ecosystems. *Global Change Biology* 23, 1000– 1008.

Yashnov V., (1940) Planktic productivity of the northern seas of the USSR (in Russian). MOSCOW: MOIP, 86 p

