

Многолетняя и сезонная динамика гидрологического режима и планктонных сообществ Белого и Печорского морей в свете изучения стабильности пелагических морских сообществ Арктики

Мартынова Д.М., Усов Н.В., Сухотин А.А., Пугачев О.Н.¹

¹*Руководитель проекта*

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

E-mail: sukhotin@zin.ru

АННОТАЦИЯ

Акватория Белого моря практически вся охвачена судовыми разрезами, на которых ведутся периодические наблюдения за пелагической экосистемой. Кроме того, в Белом море осуществляется мониторинг абиотических и биологических параметров на стационарных станциях. Однако результаты этих исследований довольно слабо обобщены. Юго-восток Баренцева моря (Печорское море) изучен намного хуже, а те данные, которые доступны, также не сведены воедино. Настоящая сводка по многолетним исследованиям описывает основные тенденции многолетней динамики температуры воды и обилия зоопланктона в двух гидрологически связанных районах Арктического Бассейна. Настоящий обзор раскрывает основные закономерности многолетней и сезонной динамики изученных экосистем, что имеет большое значение для планирования экономической деятельности в этом регионе в условиях интенсивного освоения природных ресурсов Белого и Баренцева морей.

ВВЕДЕНИЕ

Температура – один из основных параметров среды, влияющих на жизнедеятельность гидробионтов. Организмы планктона особенно чувствительны к влиянию этого фактора, так как населяют крайне нестабильную среду, а также обладают короткими жизненными циклами. В связи с этим, планктонные сообщества относительно быстро реагируют на изменения температуры, которые могут влиять на плодовитость, скорость роста и интенсивность питания организмов [1, 2, 3, 4].

В целом, функционирование высокоширотных экосистем арктического типа весьма специфично вследствие сезонной цикличности продуцирования биологического вещества. Среди первичных факторов, определяющих эту цикличность – годовой солнечный цикл и сезонные изменения температуры воды. Эти факторы определяют синхронизацию процессов создания биомассы и ее деструкции на всех трофических уровнях. Однако для высоких широт характерны сдвиги в сезонном ходе прогрева воды от года к году, что отражается на синхронизации сезонных процессов в планктонных сообществах [5]. Изменения сезонного хода температуры воды (ранний/поздний прогрев) приводит к смещению различных фенологических сроков в планктоне, и, в итоге, к несовпадению важных процессов: например, размножения планктонных животных и пика обилия их пищевых объектов [6]. Это сказывается на динамике популяций и физиологическом статусе всех компонентов экосистемы, включая промысловые виды рыб и беспозвоночных. Очевидно, при такой межгодовой изменчивости абиотических и биологических показателей для достоверного ее анализа необходимы длительные ряды наблюдений. Наиболее ценны в этом отношении данные, полученные в ходе мониторинга, то есть длительных регулярных наблюдений в определенном районе с использованием одной и той же методики.

Многолетние наблюдения за экосистемами пелагиали в Белом море организованы в виде сети стандартных судовых разрезов, которые покрывают практически всю акваторию моря. Однако это в основном гидролого-гидрохимические работы, которые

лишь в отдельные годы дополнялись гидробиологическими наблюдениями [7]. Работы на разрезах выполняются максимум три раза в год – в разные сезоны, кроме зимнего. В юго-восточной части Баренцева моря (Печорское море) наблюдения проводились не чаще одного раза в год, в августе-сентябре, либо в эпизодических рейсах [8]. Наиболее стабильными и многочисленными являются наблюдения на прибрежных гидрометеостанциях, однако они охватывают лишь поверхностный слой воды непосредственно у берега, причем измеряют только абиотические параметры. Наиболее продолжительные непрерывные наблюдения за зоопланктоном в Белом море проводит Беломорская биостанция Зоологического института РАН в губе Чупа Кандалакшского залива. Наблюдения ведутся непрерывно с 1961 г. на стандартной станции, частота отбора проб – раз в 10 дней летом (по открытой воде) и раз в месяц зимой (со льда). Точка расположена в устьевой части губы, поэтому результаты, полученные на ней, можно экстраполировать на побережье Кандалакшского залива [9].

Результаты многолетних наблюдений в Белом море и в Печорском до сих пор не сопоставлялись. Целью данной работы является выявление общих черт в многолетней динамике температуры воды и обилия зоопланктона в этих регионах, а также сравнение влияния изменений температуры воды на зоопланктон в Белом и Печорском морях.

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ БЕЛОГО МОРЯ

Температура воды

Анализ многолетних круглогодичных наблюдений гидрологических параметров, в частности, температуры, помогают раскрыть особенности местного гидрологического режима, чего нельзя сделать на основании эпизодических измерений (раз в год, раз в несколько лет). Такие наблюдения в районе устья р. Умбы в 1930–1940-е гг. показали, что в осенне-зимний период гидрологический режим прибрежной зоны определяется адвекцией вод из открытых районов Белого моря [10]. Так, в начале зимы каждый год были отмечены затоки теплых вод подо льдом. Дальнейшее охлаждение обусловлено также адвекцией, но на сей раз холодных вод. Весенний прогрев происходит за счет обмена теплом с атмосферой. Кроме того, измерения температуры воды в районе устья р. Умбы в 1930-е и 1940-е гг. позволили выявить аномально холодные (1941–1942) и теплые (1933–1936, 1937–1938) зимы [10].

В 1957 г. были начаты гидрологические и планктонные наблюдения на декадной станции в устье губы Чупа (Кандалакшский залив; станция Д-1) рядом с Беломорской биологической станцией Зоологического института АН СССР (ныне ЗИН РАН). Анализ многолетних наблюдений за период с 1958 по 1977 гг. показал, что наиболее холодными в тот период были 1958 и 1966 годы [11]. Данные наблюдения продолжают до сих пор, однако эти годы, а также 1971 год, так и остались самыми холодными. Это связано с тем, что в 1970-е годы начался относительно теплый период, который продолжается до настоящего времени. В динамике среднегодовой температуры слоя 0–65 м (глубина станции Д-1), который примерно соответствует слою зимней конвекции [12], можно проследить ярко выраженный положительный тренд (рис. 1, А). Наиболее теплым за весь период наблюдений был 2011 г. Повышение среднегодовой температуры водной толщи происходит, по всей видимости, в связи с увеличением глубины прогрева (рис. 1, Б), которое наблюдается с середины 1990-х годов. После 1998 г. среднегодовая температура воды на горизонтах глубже 25 м не опускалась ниже 0°C.

В Белом море основная часть продукции планктона создается в верхнем 25-метровом слое, при этом размножение и раннее развитие почти всех планктонных животных происходит в верхнем 10-метровом слое в весенне-летний период года [13, 5]. В слое 0–10 м самой холодной была весна в 1984 г. (2.3°C), а самой теплой – в 1966 г.

(6.6°C), самым холодным было лето 1992 г. (9.6°C), а самым теплым – лето 2005 г. (13.7°C). Многолетние тенденции в динамике средневесенней и среднелетней температур оказались недостоверными (рис. 2). Для Белого моря характерны значительные межгодовые колебания температуры воды, которые особенно сильно выражены на поверхности воды – иногда средняя температура изменяется в разы от года к году [14] (рис. 1). В Белом море можно выделить также долгопериодные изменения с длиной периода более 1 года. Как показали исследования [15], такие изменения наиболее заметны в глубоких слоях водной толщи, где менее выражены межгодовые колебания. На придонных горизонтах в глубоководном районе Бассейна Белого моря в период с 1945 по 1982 гг. были выявлены колебания температуры воды с периодами 11 и 18 лет. Минимальные температуры были отмечены в конце 1940-х годов, максимальные – в середине 1970-х, то есть в выбранный период имела место тенденция к увеличению температуры. При этом изменения температуры происходили в противофазе с колебаниями солёности, что указывает на взаимное замещение холодных и солёных вод тёплыми и менее солёными. Эти изменения связывают с долгопериодными атмосферными колебаниями [15]. На станции Д-1 в губе Чупа выраженной цикличности не обнаружено, по всей видимости, из-за резких межгодовых колебаний, характерных для прибрежной зоны моря.

По данным береговых наблюдений на гидрометеостанциях (ГМС) в Белом море в период с 1977 по 1999 гг. выявлены колебания среднегодовых значений поверхностной температуры воды с периодом 4–5 лет [14]. Максимальная температура на всех станциях отмечена в 1989 г. Низкие температуры наблюдались на всех станциях в конце 1970-х, в середине 1980-х и в начале 1990-х гг. Согласно расчетам, за 23 года наблюдений температура на поверхности поднялась в среднем на 0.5°C [16]. В разные сезоны тренд имел разную направленность: повышение отмечено весной и летом, небольшое понижение – осенью, а зимой достоверного тренда нет. Максимальная межгодовая изменчивость температуры характерна для лета и осени, то есть в период открытой воды. Положительная тенденция в динамике поверхностной температуры выявлена и в губе Чупа, причем рост поверхностной температуры здесь отмечен только весной и осенью.

Оценка относительного вклада в суммарное варьирование поверхностной температуры воды колебаний разного масштаба показала, что практически на всех метеостанциях преобладает сезонная изменчивость (в среднем 44% общей дисперсии), вклад межгодовой изменчивости либо равен ей, либо ниже (33% общей дисперсии) [14].

Для температуры воды на большинстве ГМС в Белом море, особенно в северной части, характерна не сильная, но достоверная связь с Североатлантическими колебаниями (NAO) [17].

Зоопланктон

Своеобразие геоморфологии Белого моря, структуры и динамики его водных масс определяет противоположный Арктическому бассейну инвертированный характер вертикальной зональности зоогеографических комплексов. Благодаря гидрологическим и зоогеографическим особенностям Белого моря, в нем успешно сосуществуют арктические и атлантическо-бореальные сообщества. В весенний период максимальная биомасса зоопланктона наблюдается в верхних слоях воды, сообщество представлено арктическими и аркто-бореальными видами, которые затем мигрируют на большие глубины в начале лета в связи с прогревом воды. Их место в верхних слоях воды занимают бореальные виды и космополиты. Таким образом, наибольшие сезонные изменения происходят в поверхностных водах до глубины 100 метров, где в течение

года значительно изменяются температура, солевой режим и условия освещенности. В этих водах, населенных видами, принадлежащим к разным зоогеографическим группировкам, наиболее выражена смена видового состава по сезонам и изменения в распределении видов [5, 18, 19, 20, 21, 22].

Всего в Белом море обитают планктонные животные 142 видов [23, 24]. Планктонная фауна Белого моря по сравнению с соседними морями беднее. Так, здесь отсутствуют многие группы и виды, являющиеся обычными для Баренцева моря: сифонофоры, остракоды, многие радиолярии, фораминиферы. К.Н. Кособокова и Н.М. Перцова отмечают наличие в Белом море 25 видов копепод [24], однако из них обычными для этого региона являются всего 13. Для Баренцева моря обычны 19 видов *Soropoda* [25]. Относительная бедность фауны Белого моря обусловлена рядом причин. Сильное вертикальное перемешивание и значительное падение солености в Горле препятствуют проникновению баренцевоморских видов в Белое море [26, 27, 28]. Не меньшим препятствием для их существования является значительное общее опреснение воды и суровые зимние условия [28]. Зоопланктон Белого моря и особенно его заливов характеризуется преобладанием неритических видов, так или иначе связанных с прибрежной областью [29]. Состав меняется в зависимости от сезона, например, "зимний" зоопланктон насчитывает 25 видов, а "летний" – до 37 видов только в поверхностном слое [30, 31]. За последнее десятилетие список планктонных видов в Белом море пополнился одним видом каляноидных копепод *Pseudocalanus acuspes* [32] и одним видом кладоцер *Pleopis polyphaemoides* [Л.Ф. Литвинчук, ЗИН РАН, личное сообщение]. В последнее время, инвазивные виды обнаруживают во многих частях Мирового океана и в континентальных водоёмах [33], но в обоих случаях найденные виды "вселенцами" не являются. В первом случае, новый вид был найден после общей ревизии рода *Pseudocalanus*, во втором случае, после более тщательного анализа зоопланктонных проб специалистом-систематиком. Периодически в разных районах моря встречаются бореальный *Calanus finmarchicus* и арктический *Microcalanus pygmaeus*, которые, однако, не образуют здесь устойчивых популяций [24].

Пространственное распределение зоопланктона в Белом море подвержено значительным сезонным и межгодовым изменениям [34, 35, 36]. Большие скопления планктона, занимающие десятки квадратных километров (глубокие районы Канда拉克шского залива), чередуются с обедненными районами (вершины Двинского и Онежского заливов), которые сильно различаются по преобладающим видам [23]. Неритические виды копепод (*Acartia* spp., *Temora longicornis*, *Centropages hamatus*) развиваются в массе в мелководных бухтах, в Двинском и Онежском заливах, а также вдоль Карельского берега Канда拉克шского залива, в то время как крупные арктические копеподы *Calanus glacialis* и *Metridia longa* образуют наибольшие скопления на глубинах более 100 м в Канда拉克шском заливе и Бассейне Белого моря [23]. Изменения численности разных видов различны по времени и амплитуде, сменяются доминанты или степень их доминирования, то есть структура населения перестраивается. Временные изменения в видовом составе населения могут происходить в результате смены вод разного происхождения и связанного с ними населения. Изменение обилия и распределения организмов происходят в результате размножения, смертности и онтогенетических и сезонных миграций. Например, зимующие особи *Calanus glacialis*, концентрируются в глубоких частях Белого моря [37].

Общее распространение зоопланктона в Белом море в большой степени зависит от динамических процессов в водной толще. Зависимость ярче всего отражается на соотношении численности видов, резко различающихся экологически [38]. В летний период в годы, благоприятные для развития неритических видов, тепловодных или эвритермных, например, *Acartia* spp., *T. longicornis*, *C. hamatus*, и *Oithona similis*, общая

биомасса зоопланктона в верхнем 10-метровом слое оказывается наиболее высокой, а с глубиной она понижается [38, 5]. Однако имеется и второй максимум в глубоких слоях воды (100 м и более) за счёт скоплений там арктических видов копепоид, уже упоминавшихся выше [21].

В целом для Белого моря, среднемноголетние значения биомассы составляют 120–200 мг/м³ [35]. Различные районы моря исследованы в этом отношении крайне неравномерно. В наиболее изученном с этой точки зрения Кандалакшском заливе, средняя для всего залива биомасса колебалась во второй половине XX века от 140 до 257 мг/м³, составляя в среднем 200 мг/м³ [23, 21]. Сезонная и многолетняя динамика биомассы зоопланктона в Двинском и Онежском заливах Белого моря наиболее подвержена межгодовым колебаниям в весенний период. Наибольший размах летних колебаний отмечен в Двинском заливе [39]. Осенняя биомасса зоопланктона в наименьшей степени подвержена межгодовой изменчивости для всех изученных районов Белого моря [5, 39]. Для Двинского залива характерно повышение общей биомассы зоопланктона за период 1970–1990 гг. [39]. В устьевой части губы Чупа также прослеживался положительный тренд в динамике среднегодовой биомассы в этот период, несмотря на аномальный скачок биомассы в 1975 г. (рис. 3). Тенденция сохраняется до настоящего времени [5].

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ (ЮГО-ВОСТОК БАРЕНЦЕВА МОРЯ)

Температура воды

Долговременные процессы в юго-восточной части Баренцева моря (Печорское море), в отличие от его западных районов (вековой разрез "Кольский меридиан") [40] изучены намного хуже. Постоянные наблюдения, как и в Белом море, велись только на метеостанциях. Комплексные океанологические исследования осуществлялись в рейсах, не более трех раз в год. Исследования активизировались в 1990–2000-х годах в связи с началом разработки шельфовых месторождений нефти и газа, однако это были эпизодические рейсы [41].

Данные по поверхностной и придонной температуре в восточной части Баренцева моря за период с 1972 по 2001 гг. были обобщены в монографии М.Ю. Анциферова и В.В. Гузенко [42]. Измерения проводились в рейсах ПИНРО в августе и сентябре. Самая низкая температура на поверхности была отмечена в 1982 г., а самая высокая – в 1990 и 2000 годах. В придонном горизонте самые низкие температуры наблюдались в 1979 г., а самые высокие – в 2001 г. Соответственно, можно говорить о холодном периоде рубежа 1970-х и 1980-х гг. и теплом периоде начала 2000-х гг. Действительно, десятилетие 2000–2009 гг. было самым теплым за период 1900–2009 гг. как по температуре воздуха, так и по температуре воды [43]. Температура придонного слоя воды в августе-сентябре в Печорском море испытывала колебания в течение этого десятилетия с максимумом в 2006 и 2009 гг. и минимумом в 2001–2002 гг.

В Печорском море наиболее подробно изучена лишь сама Печорская губа, в связи с ее промысловым значением [44] и поисковыми исследованиями по плану переброса части стока северных рек на юг в середине XX века [45]. Эти исследования охватывали небольшие промежутки времени и либо рассматривали средние величины, либо межгодовые изменения в течение короткого срока [46]. Изучение ряда средних температур летнего периода (июнь-сентябрь), ряда среднегодовых температур слоя 0–10 м и годовых сумм положительных температур с 1961 по 1988 гг. показало их тесную связь с Североатлантическими колебаниями [47]. Предполагается, что влияние НАО здесь опосредовано не поступлением атлантических вод, как на западе Баренцева моря, а атмосферными процессами. Кроме того, были выявлены аномально холодные (1968,

1969, 1978) и аномально теплые (1961, 1962, 1974 и 1977) годы [47, 48].

Зоопланктон

Баренцево море сильно отличается от Белого моря по географическим и гидрологическим условиям. Это накладывает отпечаток как на видовой состав планктонных сообществ, так и на их структуру, а также сезонную и межгодовую динамику. Зоопланктонные сообщества в Баренцевом море представлены двумя большими биогеографическими группами – (1) арктической и аркто-бореальной фауной (например, *Calanus glacialis*, *Calanus hyperboreus*, *Metridia longa*) и (2) бореальными и эврибионтными видами (такими как *Calanus finmarchicus*, *Pseudocalanus minutus*, *Oithona similis*), связанными с преобладанием, соответственно, Арктических и Североатлантических водных масс в определенный год [49, 50, 51, 52]. Данные многолетнего мониторинга указывают на существенные межгодовые изменения биомассы и численности зоопланктона в Баренцевом море. Например, в течение двадцатилетнего периода 1988—2009 гг., наблюдались годы с очень низкой биомассой зоопланктона (1988—1992), очень высокой (1994—1995), и значениями, близкими к среднегодовым (1998—2009) [53]. Была обнаружена положительная корреляционная связь между биомассой зоопланктона на разрезе "Кольский меридиан" и температурой воды в весеннее время [54, 55]. Многими исследователями подтверждается асинхронная связь между температурой воды и численностью науплиев массовых видов копепод с задержкой в 2–4 недели [56, 57, 58], а также прямая зависимость обилия арктических видов копепод от преобладающих водных масс [59, 60, 61]. Обнаружены квазициклические компоненты продолжительностью 13–14 лет и 2–4 летние вариации обилия молоди эуфаузиевых рачков. Сходную цикличность демонстрируют изменения температуры воды в слое 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» в июле-августе, т.е. в период дрейфового переноса икры и молоди эуфаузиид в южной части Баренцева моря [62, 63]. Влияние климатических факторов на обилие зоопланктона наиболее сильно проявляется в северной и восточной частях Баренцева моря, пресс хищников (планктоноядных рыб) назван вторым по значимости фактором, контролирующим численность зоопланктона в этом районе [52, 64]. В целом, влияние климатических флуктуаций (через интенсивность притока атлантических вод) на состав зоопланктонного сообщества и общую биомассу в западной части Баренцева моря выражено гораздо сильнее, чем в Белом море, что связано с географическим положением и особенностями гидрологического режима этих водоёмов.

Юго-восточная часть Баренцева моря включает в себя Колгуевский район, Чешскую губу, Поморский пролив, Печорскую губу, Хайпудырскую губу, Вайгачский район. Рассматривая зоопланктонные сообщества и их динамику в Печорском море, необходимо отметить большее видовое разнообразие многоклеточного зоопланктона, насчитывающего здесь около 100 видов [65] по сравнению с приблизительно 80 видами в Белом море [24]. Динамика зоопланктонных сообществ в Печорском море изучена гораздо слабее, чем в Западном секторе Баренцева моря, однако имеются данные, позволяющие проследить обилие отдельных видов зоопланктона в некоторые годы. Эта акватория сильнее расчленена по сравнению с западной частью Баренцева моря, и динамика обилия зоопланктона может различаться в разных районах. Средняя биомасса зоопланктона юго-восточной части Баренцева моря, за исключением Чешской губы, сходна с таковой на юго-западе Баренцева моря и на Восточном Мурмане, а биомасса зоопланктона Печорской губы даже превосходит биомассу в этих районах [65]. Здесь выделяются прибрежные зоопланктонные сообщества со своими специфическими структурообразующими факторами [66]. Многолетние наблюдения показывают, что сезонные изменения в планктонных сообществах от года к году имеют весьма

существенные временные сдвиги. Так, при сравнении биомассы зоопланктона для периода 1992–1995 гг. с данными для периода 1966–1992 гг. было обнаружено, что значительные колебания биомассы зоопланктона связаны, в основном, с колебаниями численности наиболее крупного солоноватоводного рачка *Limnocalanus grimaldii*. В отдельные годы он составляет до 90–95% всей биомассы зоопланктона Печорской губы. Другим видом, способным создавать относительно большие биомассы в губе, является также рачок *Acartia longiremis*. В массовых количествах он развивается обычно в те годы, когда численность *Limnocalanus grimaldii* невысока [67]. В Печорской губе были выделены два периода: период «высоких биомасс» (1967–1977), когда средняя биомасса летнего зоопланктона составляла 1488 мг/м³, и период с относительно низкими биомассами (1978–1986, 437 мг/м³) [65, 66, 67]. Период «высоких биомасс» совпадает с холодным периодом в этой части Баренцева моря [42], что может объясняться проникновением большого количества крупных холодноводных видов с арктическими водными массами. Состав, численность и биомасса зоопланктона Печорской губы также находятся в зависимости от интенсивности стока реки Печора [66]. Период 1987–1996 гг. – наиболее нестабильный по биомассе зоопланктона, когда она составляла 1338 (1987 г.), 70 (1988 г.) и 1428 мг/м³ (1994 г.). Наиболее нестабильными по своим структурным и количественным характеристикам являются зоопланктонные сообщества Колгуевского района и Поморского пролива. Одним из наиболее существенных факторов, формирующих данные сообщества, является степень проникновения в эти районы, с одной стороны, теплых Атлантических водных масс, а с другой – холодных водных масс из района Новой Земли [66].

Прибрежный зоопланктон юго-восточной части Баренцева моря в весенне-летний период значительно богаче, чем в открытых частях моря. В основном это происходит из-за сезонного развития тепловодного зоопланктона. В больших количествах в это время в прибрежной зоне развиваются *Temora longicornis*, *Acartia longiremis*, *A. bifilosa*, Cladocera. Тепловодный бореально-неритический комплекс составляет в среднем до 50–70% общей биомассы прибрежного зоопланктона. Большой вклад в создание общей биомассы зоопланктона вносит в весенне-летний период меропланктон – личинки донных и придонных организмов, особенно в Чешской губе (до 60–80% общей численности). Значительную часть в зоопланктоне они составляют и на мелководьях, прилегающих к о. Колгуев. В прибрежных зонах вдоль Поморского пролива доля меропланктона составляет до 30–40% общей численности. Средняя биомасса зоопланктона в этих районах невелика и составляет 30–70 мг/м³. Значительно более богат зоопланктон в районах, находящихся под влиянием стока реки Печора. И в самой Печорской губе, и в прилегающих к ней районах общая биомасса зоопланктона часто достигает 400–500 мг/м³ и более [68]. Доминирующими видами являются *Limnocalanus grimaldii*, *Acartia bifilosa*, *Temora longicornis*, *Pseudocalanus minutus*. В Хайпудырской губе доминирующим видом чаще выступают рачки рода *Acartia*, в отличие от Печорской, где основу биомассы зоопланктона чаще всего создает *Limnocalanus grimaldii*. Для прибрежных районов о. Вайгач и южной оконечности Новой Земли характерным компонентом зоопланктонных сообществ являются рачки рода *Calanus*. Различные стадии *Calanus glacialis* и *C. finmarchicus* составляют здесь до 50–75% общей биомассы зоопланктона. Средняя биомасса зоопланктона в этих районах в отдельные периоды года очень велика и достигает 500–900 мг/м³.

СРАВНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В БЕЛОМ МОРЕ И В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

В течение последних 50 лет можно проследить периоды низких и высоких температур как в Белом, так и в Печорском море. По данным многочисленных съемок

по всему Баренцеву морю [43], самым теплым периодом в этом регионе был период 2000–2009 гг. То же самое отмечено и на постоянной точке в Кандалакшском заливе Белого моря (собств. данные). Измерения поверхностной температуры воды в рейсах по юго-восточной части Баренцева моря в августе-сентябре показали, что самым холодным за период с 1972 по 2001 гг. был 1982 г., а самыми теплыми 1990 и 2000 годы [42]. Это совпало, со смещением не более года, с холодным периодом конца 1970-х – начала 1980-х гг. и теплыми 1989 и 2000 годами на станции Д-1 в Кандалакшском заливе Белого моря и на ГМС в Белом море [14; собств. данные]. Анализ данных с 1960 по 1980 годы показал, что изменения среднегодовой температуры на поверхности воды в Печорском и Белом морях происходят сходно, но с запаздыванием в Печорском море примерно на 3 года (рис. 4). К сожалению, по гидрометеостанции в Печорском море пока доступны данные только до 1980 г. Продление ряда позволит проверить выявленные на данном этапе закономерности.

Таким образом, многолетние тенденции в динамике температуры воды в Белом и Печорском морях имеют общие черты. Это является, по всей видимости, следствием географической близости этих двух акваторий и сходства климатических процессов, влияющих на гидрологические характеристики этих районов.

Сравнение динамики зоопланктонных сообществ Белого и Печорского морей крайне затруднено вследствие фрагментарности данных по второму району. Кроме того, состав, численность и биомасса зоопланктона Печорской губы зависят от интенсивности стока реки Печора [47], что не позволяет напрямую сравнивать межгодовые колебания обилия местного зоопланктона с процессами, происходящими в Белом море. Так, в Печорской губе прослеживается период высоких биомасс летнего зоопланктона в 1967–1977 гг. и период низких биомасс в 1978–1986 гг., вслед за которым наступил период значительной вариабельности. В Белом море, напротив, наблюдается положительный тренд суммарной биомассы зоопланктона в течение последних 50 лет (рис. 3) [69, собств. данные].

В общем, средняя биомасса зоопланктона юго-восточной части Баренцева моря, за исключением Чёской губы, не уступает таковой на юго-западе Баренцева моря [70] и Восточного Мурмана [71]. В Печорской губе наблюдаются наибольшие средние значения биомассы зоопланктона по сравнению с остальными районами юго-восточной части Баренцева моря, не превышающими обычно 300 мг/м^3 (рис. 3). Несколько меньшие значения суммарной биомассы в теплый период года (июнь-август) отмечены в глубоководной зоне Кандалакшского залива Белого моря – 205 мг/м^3 в среднем за период 1926 – 2000 гг. [69]. В прибрежье, на станции Д-1, средняя биомасса в теплый период была выше: 347 мг/м^3 , то есть незначительно отличалась от биомассы в Печорской губе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В прибрежной зоне Кандалакшского залива наблюдается тенденция к росту среднегодовой температуры воды слоя зимней конвекции (0–65 м) в течение последних 53 лет (с 1961 г.), что происходит за счет более интенсивного прогрева нижних слоев воды. За период наблюдений среднегодовая температура поднялась в среднем на 0.5°C [5, 14]. При этом видовой состав зоопланктона и набор доминант в данном районе не изменились за последние полвека по сравнению с предыдущими данными [21, 23, 38, 72], инвазивных видов зоопланктона не выявлено. Суммарная биомасса зоопланктона выросла за последние 50 лет наблюдений [39, 69; собств. данные]. Несмотря на существенные межгодовые изменения суммарных показателей обилия, годовой цикл развития зоопланктонных сообществ остаётся практически неизменным. Весной в верхнем продуктивном слое доминируют холодолюбивые арктические и арктобореальные виды, которые, завершив размножение, сменяются эвритермными видами.

Летом в верхнем, хорошо прогретом 10-метровом слое воды обычно обитают теплолюбивые и эвритермные виды. В годы, когда массовое развитие получают неритические виды, теплолюбивые или эвритермные, общая биомасса зоопланктона в верхнем слое оказывается наиболее высокой, а с глубиной резко падает (в слое 25–100 м), однако в псевдо-абиссали (глубины более 150 м), она остаётся высокой всегда за счёт массовых скоплений крупных арктических копепод. Осенью в верхних слоях воды остается всё меньше бореальных видов, которые завершают жизненный цикл откладкой латентных яиц и замещаются эврибионтными видами. Наибольшая биомасса зоопланктона в этот период наблюдается в глубоких слоях воды, где концентрируются виды, зимующие на стадии копеподита. В течение зимы картина мало меняется: практически все каляноидные копеподы образуют скопления в глубоких слоях воды [23, 38, 73; собств. данные].

В восточной части Баренцева моря также прослеживается тенденция к росту температуры воды. За период с 1972 по 2001 гг. самым холодным был 1982 г., а самыми теплыми 1990 и 2000 годы [42]. Десятилетие с 2000 по 2009 гг. было самым теплым в Баренцевом море в целом и в Печорском море в частности [43]. Среднелетние и среднегодовые температуры воды в слое 0–10 м в Печорской губе довольно тесно связаны с Северо-Атлантическими колебаниями. Холодные и теплые периоды в Печорском и Белом морях совпали с незначительным смещением, что указывает на сходство климатических процессов в этих регионах.

В то же время, данных по обилию зоопланктона в Печорском море крайне мало, и они относятся к отдельным закрытым губам – Чёшской и Печорской [66, 74]. Динамика обилия зоопланктона здесь и в Белом море заметно различается. Причина, вероятно, в том, что в губах Печорского моря заметно влияние речного стока из-за малой площади этих акваторий, тогда как в исследованном районе Белого моря действие этого фактора не столь выражено.

Для более надежных выводов необходимо вести мониторинг зоопланктона в открытых районах Белого и Печорского морей. Закономерности сезонных и многолетних изменений в планктонных сообществах невозможно выявить без длительных непрерывных наблюдений за ними. Если мониторинг абиотических параметров среды можно вести с помощью автономных систем, то наблюдения за зоопланктоном требуют работы специалистов в экспедициях или на научных стационарах. Одним из таких мест является Беломорская биологическая станция Зоологического института РАН – одна из старейших и активно действующих в Российском секторе Арктики. Помимо работы непосредственно на стационаре, сотрудники биостанции осуществляют регулярные экспедиции по Белому и Баренцеву морям на научно-исследовательских судах биостанции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Koski, H. Kuosa. *Journal of Plankton Research*, 1999, **21**, 1779–1789.
2. I.A. McLaren, J.M. Seigney, C.J. Corkett. *Hydrobiologia*, 1988, **167–168**, 275–284.
3. M. Daase, J. Søreide, D. Martynova. *Marine Ecology Progress Series*, 2011, **429**, 111–124.
4. L. Wua, Q. Gao, G. Wang, Y. Liu. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2013, **93**, 645–649.
5. N. Usov, I. Kutcheva, I. Primakov, D. Martynova. *Hydrobiologia*, 2013, **706**, 11–33.
6. M. Edwards, A.J. Richardson. *Nature*, 2004, **430**, 881–884.
7. И.В. Мискевич. *Мат-лы отчетной сессии СевПИИРО по итогам научно-исслед. работ 2001–2002 гг.*, Архангельск, 2003, 5–17.

8. В.А. Трошков, Л.В. Гнетнева. *Биологические ресурсы побережья российской Арктики. Материалы к симпозиуму*, М., 2000, 143–150.
9. R.J.M. Howland, A.N. Pantiulin, G.E. Millward, R. Prego. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1999, **48**, 1–12.
10. М.М. Адров. *Материалы рыбохозяйственных исследований Северного бассейна*, 1965, Вып. 5, 103–109.
11. А.И. Бабков. *Исследования фауны морей*, **27 (35)**, 1982, 3–16.
12. А.И. Бабков, А.Н. Голиков. Гидробиокомплексы Белого моря, Л.:Изд. Зоологического ин-та АН СССР, 1984, 104 с.
13. Р.В. Прыгункова. *Исследование фауны морей*, 1974, **13 (21)**, 4–55.
14. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Н.Н. Филатов, Ф.Ю. Тержевик (ред.). Петрозаводск: КНЦ РАН, 2007, 335 с.
15. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том II. Белое море, Л.: Гидрометеиздат, 1991, 240 с.
16. А.В. Толстикова. Изменчивость температурного режима поверхностного слоя воды Белого моря. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. Петрозаводск, 2006, 24 с.
17. В.В. Дроздов, Н.П. Смирнов. *Проблемы Арктики и Антарктики*, 2011, № 3 (89), 78–88.
18. Э.А. Зеликман. *Первая Всесоюзная конференция по морской биологии. Тез. докл.*, Владивосток, 1977, 52–53.
19. Н.М. Перцова. *Комплексные исследования природы океана*, М.: Изд-во МГУ, 1971, вып. 2, 153–162.
20. Н.М. Перцова. *Гидробиология и биогеография шельфов холодных и умеренных вод Мирового океана*, Л., 1974, 98–99.
21. V. Berger, K. Kosobokova. *White Sea. Ecology and environment*, St.-Petersburg–Tromsø: Derzavets Publisher, 2001, 31–38.
22. В.А. Трошков. *Исследования фауны морей*, 2012, **69 (77)**, 67–87.
23. Н.М. Перцова, Р.В. Прыгункова. *Белое море. Биологические ресурсы и проблемы рационального использования*, СПб.: ЗИН РАН, 1995, **1**, 115–141.
24. К.Н. Кособокова, Н.М. Перцова. *Система Белого моря. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. Т. II*, М.: Научный мир, 2012, 640–674.
25. В.Г. Дворецкий, А.Г. Дворецкий. *Вестник Кольского научного центра РАН*, 2012, №2, 30–36.
26. К.М. Дерюгин. *Исследования морей СССР*, Л.: Изд. ГГИ, 1928, вып. 7–8. 511 с.
27. М.А. Виркетис. *Исследования морей СССР*, Л.: Изд. ГГИ, 1929, вып. 3, 1–47.
28. Е.Ф. Гурьянова. Белое море и его фауна. Петрозаводск, 1948. 132 с.
29. Н.М. Перцова. *Комплексные исследования природы океана*, М.: Изд. МГУ, 1980, вып. 7, 278–283.
30. М.В. Бондаренко. *Комплексные исследования экосистемы Белого моря*, М.: ВНИРО, 1994, 92–94.
31. И.П. Кутчева. *Экологические исследования беломорских организмов. Материалы Международной конференции 16-19 июля 1997 года*, СПб: Изд-во ЗИН РАН, 1997, 43–46.
32. E.L. Markhaseva, A.A. Abramova, N.D. Mingazov. *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, 2012, **316**, P. 57–70.
33. Ю.Ю. Дгебуадзе. *Сб. Мат-лов круглого стола Всерос. конф. Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов*. М.: Изд-во ИПЭЭ, 2002, 11–14.
34. Р.В. Прыгункова. *Биол. моря*, 1985, № 4, 9–16.

35. В.Я. Бергер. Продукционный потенциал Белого моря, СПб.: ЗИН РАН, 2007, 292 с.
36. Д.М. Мартынова. *Исследование фауны морей*, 2012, **69 (77)**, 87–96.
37. К.Н. Кособокова. *Polar Biol.*, 1999, **22**, 254–263.
38. Р.В. Прыгункова. *Экология морского планктона*, Л., 1977, 100–108.
39. В.А. Трошков. *Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Фенноскандии: Международная конференция и выездная научная сессия Отделения общей биологии Российской академии наук, Петрозаводск, 6–10 сент., 1999. Тез. докл.*, Петрозаводск, 1999, 103.
40. G. Matishov, D. Moiseev, O. Lyubina, A. Zhichkin, S. Dzhenyuk, O. Karamushko, E. Frolova. *Polar Biol.*, 2012, **35**, 1773–1790.
41. Н.Ф. Плотицына, В.П. Килеженко. *Материалы отчетной сессии по итогам НИР ПИНРО в 1992 г.*, Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1993, 279–287.
42. М.Ю. Анциферов, В.В. Гузенко. Распределение среднесезонных гидрометеорологических характеристик в восточной части Баренцева моря в августе и сентябре за период 1972–2001 гг. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2002, 73 с.
43. V.D. Boitsov, A.L. Karsakov, A.G. Trofimov. *ICES Journal of Marine Science*, 2012, **69**, 833–840.
44. Ф.А. Селезнев. *Мат-лы рыбохозяйственных исследований Северного бассейна*. 1965. Вып. 5. С. 110–116.
45. В.М. Надежин. *Океанология*, 1965, **5**, 448–457.
46. Ф.А. Селезнев. *Материалы рыбохозяйственных исследований Северного бассейна*, 1967, вып. 9, 110–120.
47. С.Ф. Тимофеев. *Вековые изменения морских экосистем Арктики. Климат, морской перигляциал, биопродуктивность*, Апатиты, 2001, 33–49.
48. Л.М. Залесских. *Динамика численности промысловых рыб*, М.: Наука, 1986, 120–131.
49. В.М. Каменкович, М.М. Кошляков, А.С. Монин. *Синоптические вихри в океане*. Л.: Гидрометеоиздат, 1982, 264с.
50. J.R. Skjoldal, H. Gjassetter, H. Loeng. *ICES Marine Science Symposium*, 1992, **195**, 278–290.
51. M.Yu. Kulakov, V.B. Pogrebov, S.F. Timofeyev, N.V. Chernova, O.A. Kiyko. *The Global Coastal Ocean. Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses. The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas. A.R. Robinson, K.H. Brink (eds.)*, Vol. 14, Harvard University Press. Cambridge, MA, 2004, 1139–1176.
52. P. Dalpadado, K.R. Arrigo, S.S. Hjøllø, F. Rey, R.B. Ingvaldsen, E. Sperfeld, G.L. van Dijken, L.C. Stige, A. Olsen, G. Ottersen. *PLoS ONE*, 2014, **9**, e95273.
53. E. Orlova, T. Knutsen, I. Berchenko, P. Dalpadado, S. Falk-Petersen, I. Prokopchuk, A. Yurko, V. Nesterova, O. Yurko. *Joint Norwegian-Russian environmental status 2008 Report on the Barents Sea Ecosystem, Part II – Complete report, 2009. J.E. Stiansen, O. Korneev, O. Titov, and P. Arneberg (Eds.)*. IMR/PINRO Joint Report Series, 2009, **3**, 201–211.
54. Т.В. Антипова, А.А. Дегтерева, А.Ф. Тимохина. *Труды ПИНРО*, 1974, вып. 21, 81–87.
55. E.L. Orlova, G.B. Rudneva, P.E. Renaud, K. Eiane, A. Yurko. *Aquatic Biology*, 2010, **10**, 105–118.
56. А.А. Дегтерева. *Труды ПИНРО*, 1979, вып. 43, 22–53.
57. G. Matishov, P. Makarevich, S. Timofeev, L. Kuznetsov, N. Druzhkov, V. Larionov, V. Golubev, A. Zuyev, N. Adrov, V. Denisov, G. Iliyn, A. Kuznetsov, S. Denisenko, V. Savinov, A. Shavikyn. *Biological Atlas of the Arctic Seas 2000: Plankton of the Barents and Kara Seas*. NOAA/UNESCO, 2000, 270 p.

58. С.С. Дробышева, В.Н. Нестерова. *100 лет океанографических наблюдений на разрезе "Кольский меридиан" в Баренцевом море: Сб. докл. Междунар. симпозиума.* Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005, 5–12.
59. E.L. Orlova, A.V. Dolgov, G.B. Rudneva, V.N. Nesterova. *ICES J. Mar. Sci.*, 2005, **62**, 1463–1474.
60. I. Ellingsen, P. Dalpadado, D. Slagstad, H. *Climatic Change*, 2008, **87**, 155–175.
61. P. Dalpadado, R.B. Ingvaldsen, L.C. Stige, B. Bogstad, T. Knutsen, G. Ottersen, B. Ellertsen. *ICES Journal of Marine Science*, 2012, **69**, 1303–1316.
62. В.Д. Бойцов. *Вопросы промысловой океанографии Северного бассейна: Сб. науч. тр. ПИНРО*, Мурманск, 1984, 19–29.
63. В.Д. Бойцов, Г.И. Несветова, В.К. Ожигин, О.В. Титов. *Сб. статей Международного симпозиума, посвященный 100-летию исследований на океанографическом разрезе «Кольский меридиан»*, Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005, 34–41.
64. L.C. Stige, P. Dalpadado, E. Orlova, A. Boulay, J.M. Durant, G. Ottersen, N.C. Stenseth. *Progress in Oceanography*, 2014, **120**, 243–253.
65. В.А. Трошков, Л.В. Гнетнева. *Соврем. состояние планктона и бентоса, пробл. сохранения биоразнообразия аркт. морей: Тез. докл. междунар. конф., Мурманск, 27–30 апреля 1998.* Мурманск. 1998, 104–106.
66. В.А. Трошков. *Вековые изменения морских экосистем Арктики: климат, морской перигляциал, биопродуктивность: Тез. докл. междунар. конф., Мурманск, 11–13 мая, 2000.* Мурманск. 2000, 137–139.
67. В.А. Трошков. *Соврем. состояние планктона и бентоса, пробл. сохранения биоразнообразия аркт. морей: Тез. докл. междунар. конф., Мурманск, 27–30 апреля 1998,* Мурманск. 1998, 102–103.
68. В.А. Трошков. *Биологические основы устойчивого развития прибрежных морских экосистем: Тезисы докладов международной конференции, Мурманск, 25–28 апреля 2001, Апатиты, 2001,* 241.
69. Н.М. Перцова, К.Н. Кособокова. *Океанология*, 2002, **42**, 240–248.
70. В.А. Яшнов. *Тр. ВНИРО*, 1939, **4**, 201–224.
71. М.М. Камшилов. *Докл. АН СССР*, 1951, **76**, 131–133.
72. V. Berger, A. Naumov, M. Zubaha, N. Usov, I. Smolyar, R. Tatusko, S. Levitus. *36-Year Time Series (1963–1998) of Zooplankton, Temperature and Salinity in the White Sea.* S-Petersburg–Silver Springs, 2003, 362 p.
73. Д.М. Мартынова *Питание массовых видов копепод надсемейства Centropagoidea в Белом море.* Автореф. соиск. ученой степени канд. биол. наук, СПб, издательство СПбГУ, 2004, 24 с.
74. В.А. Трошков. *Вековые изменения морских экосистем Арктики: климат, морской перигляциал, биопродуктивность: Тез. докл. междунар. конф., Мурманск, 11–13 мая, 2000,* Мурманск. 2000, 136–137.

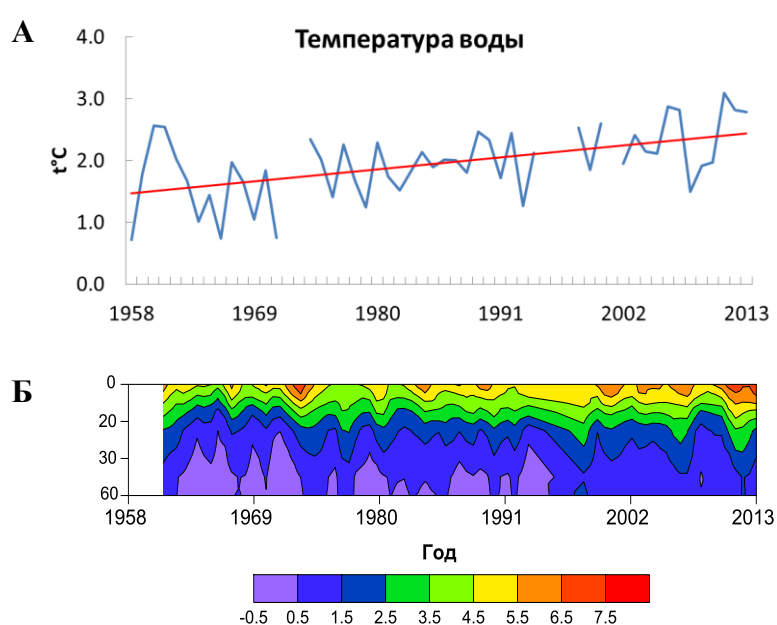


Рис. 1. Многолетняя динамика среднегодовой температуры воды в районе Беломорской биостанции ЗИН (губа Чупа Белого моря) в слое 0–65 м (А) и многолетние изменения вертикального распределения температуры воды (Б).

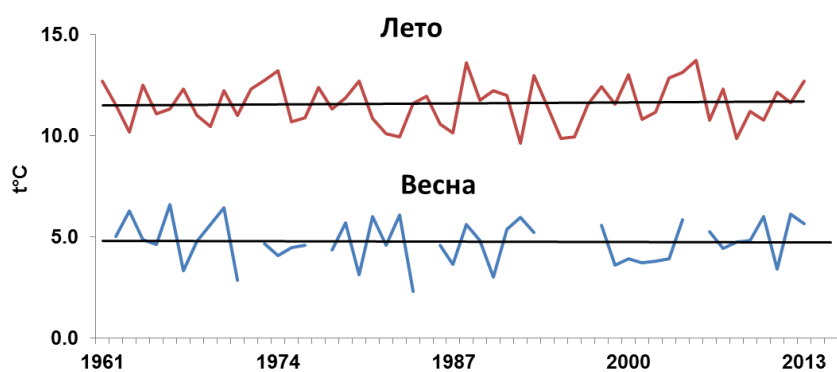


Рис. 2. Многолетняя динамика средней температуры воды в весенний и летний период в районе Беломорской биостанции ЗИН (губа Чупа Белого моря) в слое 0-10 м. Приведены линейные тренды.

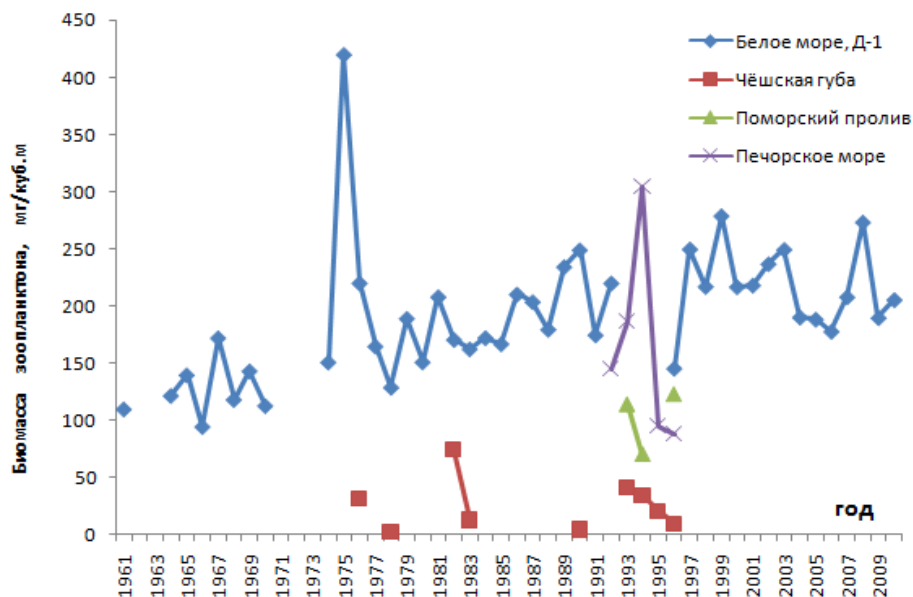


Рис. 3. Многолетняя динамика биомассы зоопланктона (мг/м^3) в Белом море (ст. Д-1, оригинальные данные) и в некоторых районах юго-восточной части Баренцева моря [65, 67, 74].

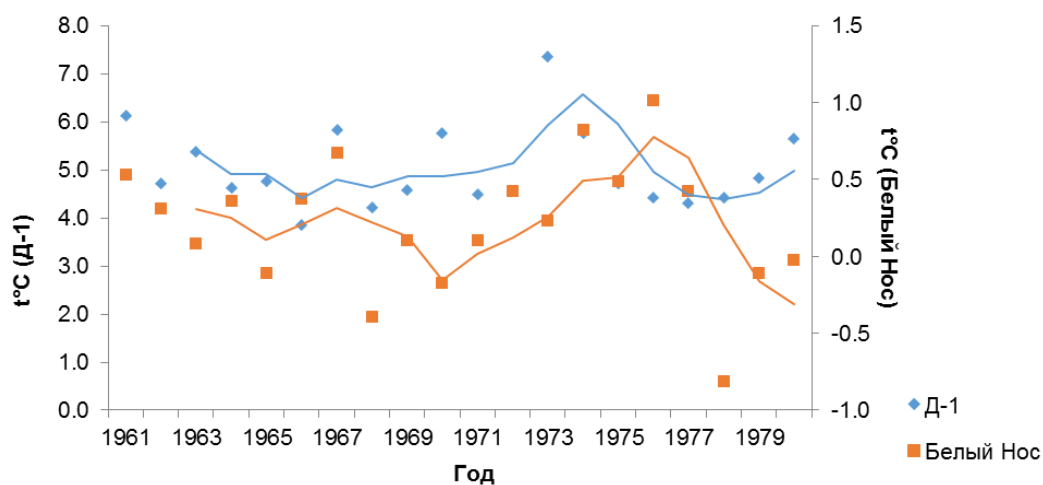


Рис. 4. Динамика поверхностной температуры воды на станции Д-1 (Белое море) и на ГМС на мысу Белый Нос (Печорское море). Приведены среднегодовые значения температур воды и графики скользящих средних по 3-м точкам.