

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ ЕВРОПЕЙСКОЙ АРКТИКИ

акад. РАН Г.Г.МАТИШОВ^{1,2}, д-р геогр. наук С.Л.ДЖЕНЮК¹,
канд. геогр. наук Д.В.МОИСЕЕВ¹, канд. геогр. наук А.П.ЖИЧКИН¹

¹Мурманский морской биологический институт, г. Мурманск, matishov@mmbi.info, dzhenyuk@mmbi.info,
denis_moiseev@mmbi.info, zhichkin@mmbi.info

²ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

Дана характеристика современных климатических трендов температуры воды и ледяного покрова в Баренцевом море как основных индикаторов состояния морских экосистем Европейской Арктики. Исследована реакция экосистем на климатические изменения на разных трофических уровнях (сообщества планктона и бентоса, промысловые рыбы). Выделение климатической составляющей в динамике экосистем возможно только при полном учете преднамеренных и непреднамеренных антропогенных воздействий (промыслового изъятия, донного траления, интродукции чужеродных видов и др.).

Ключевые слова: Европейская Арктика, Баренцево море, морские экосистемы, климат, температура воды, ледовитость, планктон, бентос, промысловая ихтиофауна.

Одним из приоритетных направлений Международного полярного года (МПГ) является оценка современного состояния морских экосистем Арктики. Среди внешних факторов воздействия ведущее место занимают климатические аномалии, которым в последние годы уделяется повышенное внимание. Они непосредственно влияют на биологическую продуктивность и биоресурсы морей, а связанная с ними изменчивость ледяного покрова определяет условия жизнедеятельности морских организмов на всех трофических уровнях.

Гидробиологические исследования морей Европейской Арктики проводятся уже более столетия. На начальных этапах они ограничивались сбором данных о видовом составе, жизненных циклах и экологии морских организмов, а также оценкой запасов промысловых рыб. По мере развития представлений о структуре и функционировании морских экосистем объектом исследований стал весь природный комплекс, включающий водную среду, донные осадки, сообщества планктона и бентоса, ихтиофауну и высших консументов — морских птиц и млекопитающих.

Мурманский морской биологический институт (ММБИ) проводит комплексные исследования морей Европейской Арктики на акватории от Исландии до Северной Земли. В ходе МПГ 2007/08 ежегодные океанологические съемки Баренцева моря на НИС «Дальние Зеленцы» были дополнены программой исследований прибрежных вод Шпицбергена, Земли Франца-Иосифа и Новой Земли (рис. 1а, б). В продолжение многолетнего цикла исследований [2] проведены четыре экспедиции на атомных ледоколах Мурманского морского пароходства (ММП), работающих на трассе Севморпути. На рис. 1в показан маршрут одной из экспедиций, включающий наиболее характерные районы: юго-восток и север Баренцева моря, прибрежную зону Новой Земли, Обь-Енисейское взморье. По результатам этих исследований решались следующие задачи:

— сбор и обобщение данных о современном состоянии морских экосистем, их внутригодовой и межгодовой изменчивости, а также источниках и уровнях антропогенных воздействий [2, 29];

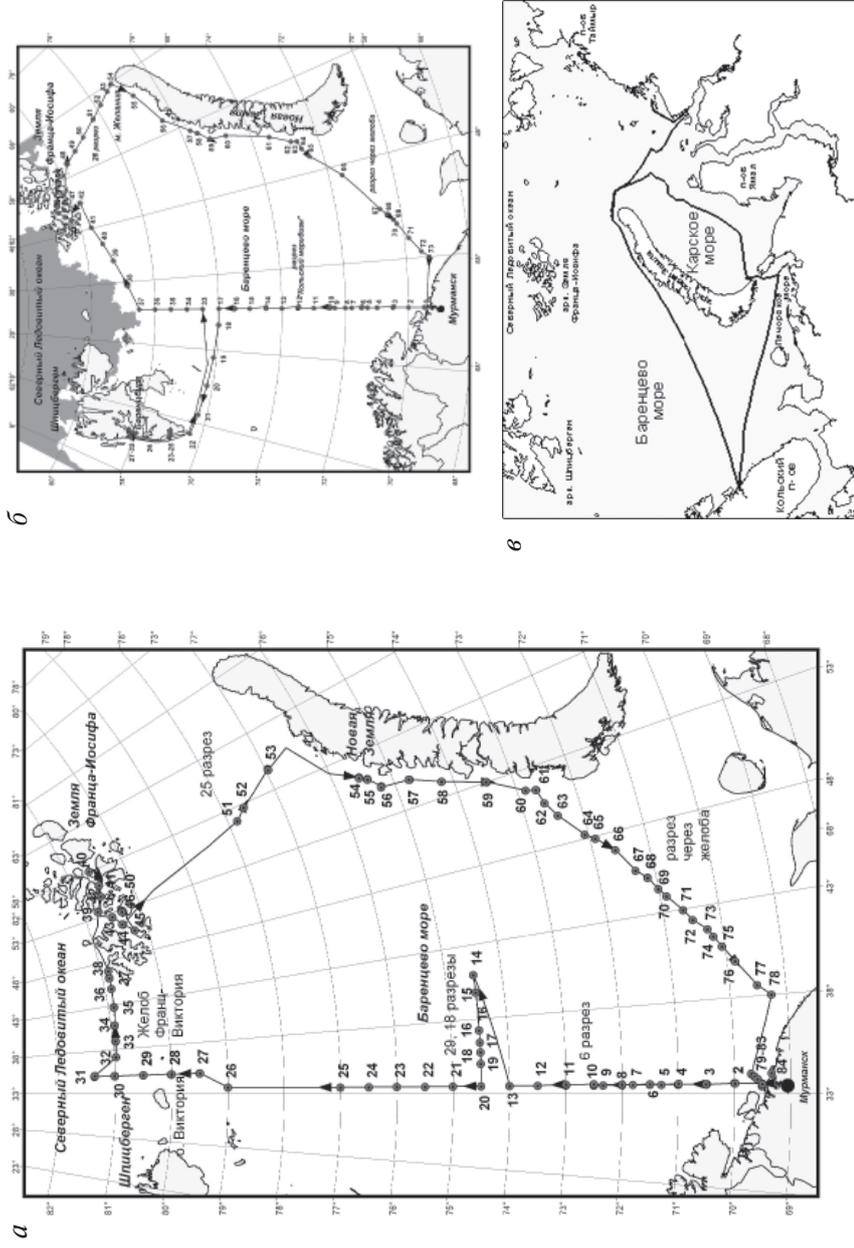


Рис. 1. Экспедиционные исследования ММБИ в период МПГ:

a – станции и маршрут международной высокоширотной комплексной экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» (18 августа – 8 сентября 2007 г.); *б* – станции и маршрут комплексной высокоширотной экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» (16 августа – 5 сентября 2008 г.); *в* – маршрут экспедиции на атомном ледоколе «50 лет Победы» в июне–июле 2007 г.

– оценки норм и аномалий экосистемных параметров с использованием баз океанографических и гидробиологических данных, выявление аномальных состояний морской среды и экосистем [15, 16, 31, 41];

– анализ влияния климатических изменений на биологическую продуктивность, ресурсный потенциал и условия морской деятельности в Арктике [15, 16, 23, 26].

Далее мы рассмотрим состояние климатической системы западно-арктических морей по результатам экспедиционных исследований 2000–2009 гг., обобщения данных дистанционного мониторинга и на основе публикаций последних лет.

ТЕПЛОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ МАСС И АНОМАЛИИ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ

Среди факторов, определяющих климат морей Западной Арктики, ведущую роль играет адвекция тепла Североатлантическим течением. Благодаря распространению атлантических вод в Баренцевом море существует устойчивая фронтальная зона, отделяющая его незамерзающую юго-западную часть от остальной акватории с трансформированной водной массой и сезонным ледяным покровом (рис. 2). Распространение атлантических вод вдоль подводных желобов, выпаханных материковым льдом, приводит к значительной пространственно-временной изменчивости температуры воды, поэтому для объективного суждения о климатических тенденциях необходимо использовать осредненные характеристики [25, 41].

Мощность потока атлантических вод, его пространственно-временные изменения, положение полярного фронта лучше всего определяются в ходе анализа данных измерений температуры и солёности на стандартных (вековых) разрезах. Это связано с трудоемкостью измерений скорости и направления течений *in situ* и с тем, что для вековых разрезов собрана наибольшая база данных именно по температуре и солёности [25, 40]. При этом термохалинную структуру водных масс на стандартных разрезах обязательно необходимо рассматривать с учетом геоморфологии гляциального дна [21, 41].

Разрез «Кольский меридиан» по 33° 30' в.д. (рис. 2) уникален по длительности периода наблюдений, которые были начаты в 1900 г., прерывались в 1907–1920 гг. и 1942–1944 гг., а с 1945 г. по настоящее время образуют непрерывный ряд. Как правило, регулярно исследуется только участок разреза до 74° с.ш. [13]. Однако гораздо больший интерес представляет исследование термохалинной структуры севернее 74° с.ш., что позволяет исследовать все струи атлантических вод, затекающих в Баренцево море, а также полярный фронт. В полярной океанологии общеупотребительным показателем климатической изменчивости морей Североевропейского бассейна остается средняя температура атлантических вод в слоях 0–50 м и 0–200 м, что соответственно отражает процессы в деятельном слое моря и во всей водной толще [26].

В вековой динамике климата теплые циклы отмечались неоднократно. Наиболее ярко выраженной была теплая климатическая фаза в 1920–30-е гг. (рис. 3а). Она была связана с климатическим феноменом первой половины XX в., известным как «потепление Арктики», которое проявилось в повышении температуры на побережьях и островах, сокращении сезонного ледяного покрова в арктических морях [12, 42]. На Кольском разрезе были отмечены две волны потепления с аномалиями температуры до +1,0 °С в начале 1920-х гг. и на протяжении большей части следующего десятилетия.

По результатам анализа данных, полученных в экспедициях ММБИ, расчета и оценки термохалинных аномалий на разрезе «Кольский меридиан» выявляется аналогичный период потепления, начавшийся в конце 1980-х гг. Это свидетельствует о явном усилении адвекции теплых вод из Атлантики в системе гляциальных желобов Баренцева моря. На фоне длительного потепления отмечалось кратковременное похолодание 1997–1999 гг. [24].

В начале XXI в. теплая аномалия в слое 0–200 м в Баренцевом море достигла пика в период с 2001 по 2006 г. В 2007–2009 гг. она сменилась тенденцией к похолоданию. Отклонение температуры воды от нормы снизилось с 1,39 °С в 2006 г. до 0,13 °С в 2009 г., а солености соответственно – с 0,06 до 0,05 ‰ (рис. 3б). Таким образом, многолетний климатический тренд после 2006 г., реализуется как устойчивая нисходящая тенденция. Уже начиная с 2010 г. можно ожидать возвращения режима функционирования экосистемы Баренцева моря к среднему многолетнему состоянию. В дальнейшем не исключен переход к периоду похолодания. Наши данные относятся к летним месяцам, но их можно с полным основанием распространить на все сезоны года, поскольку летний термический режим наиболее изменчив. Так, по данным научно-справочного пособия [6], стандартное отклонение средней месячной температуры поверхностного слоя летом в разных районах Баренцева моря изменяется от 1 до 3 °С, тогда как зимой – от 0,5 до 1,0 °С.

Изменения температуры воздуха на побережьях морей Западной Арктики во второй половине XX – начале XXI вв. следуют тем же закономерностям, хотя межгодовая изменчивость среднегодовой температуры воздуха значительно выше (аномалии разного знака чередуются с интервалами 1–2 года). В публикациях последних лет приведены результаты анализа рядов средней годовой температуры воздуха, выполненных по сходной методике для станций Мурманск [14] и Малые Кармакулы на южном острове Новой Земли [12]. В обоих случаях выявленные

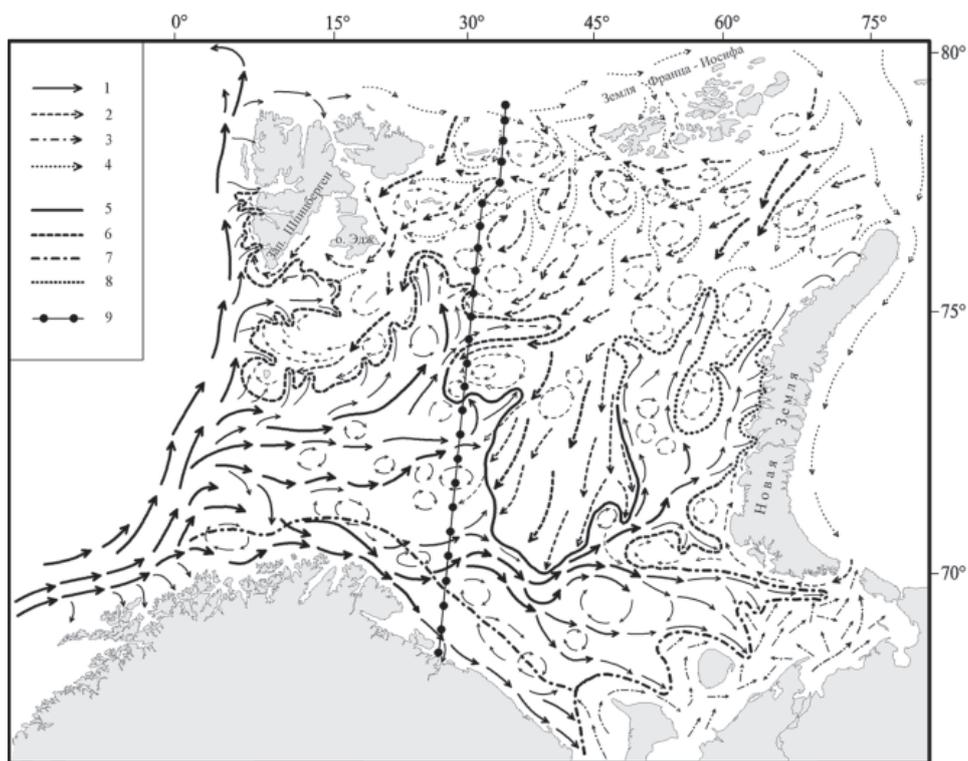


Рис. 2. Схема циркуляции вод Баренцева моря и положение разреза «Кольский меридиан»: Течения: 1 – теплые; 2 – холодные; 3 – местные прибрежные; 4 – распространение глубинных атлантических вод; климатические фронтальные зоны: 5 – термические; 6 – термохалинные; 7 – халинные; 8 – слабовыраженные, неустойчивые; разрез «Кольский меридиан» – 9

тренды значительно различаются в зависимости от интервала времени: если для 50–60-летнего ряда тренд близок к нулю, то в 1980–2005 гг. он составлял в обоих случаях порядка $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$.

Проведенная нами выборка аномалий ежемесячных значений температуры воздуха в Мурманске начиная с 1919 г. показала, что хронологическое распределение аномалий близко к равномерному, в том числе и за последние два десятилетия, когда во многих районах мира прослеживался хорошо выраженный тренд потепления. Только в 2003–2008 гг. можно отметить явное преобладание положительных аномалий.

Одним из наиболее репрезентативных показателей состояния морских экосистем Западной Арктики является ледовитость Баренцева моря, рассчитанная при годовом или помесечном осреднении. В отличие от Норвежско-Гренландского бассейна, где ледовая обстановка от года к году меняется мало, и Карского моря, где вся изменчивость приходится на короткий летне-осенний период, для Баренцева моря характерны значительные межгодовые и внутригодовые колебания ледовитости в любые месяцы [10, 39, 42]. Ледовитость тесно связана с температурой морских вод. Так, для Баренцева моря коэффициент корреляции между ледовитостью в августе и температурой воды на Кольском разрезе в том же месяце составляет $-0,83 \pm 0,03$ [6]. Вместе с тем ряды как ледовитости, так и температуры не свободны от пропусков и методических погрешностей, поэтому для объективной оценки климатических трендов следует использовать оба вида информации.

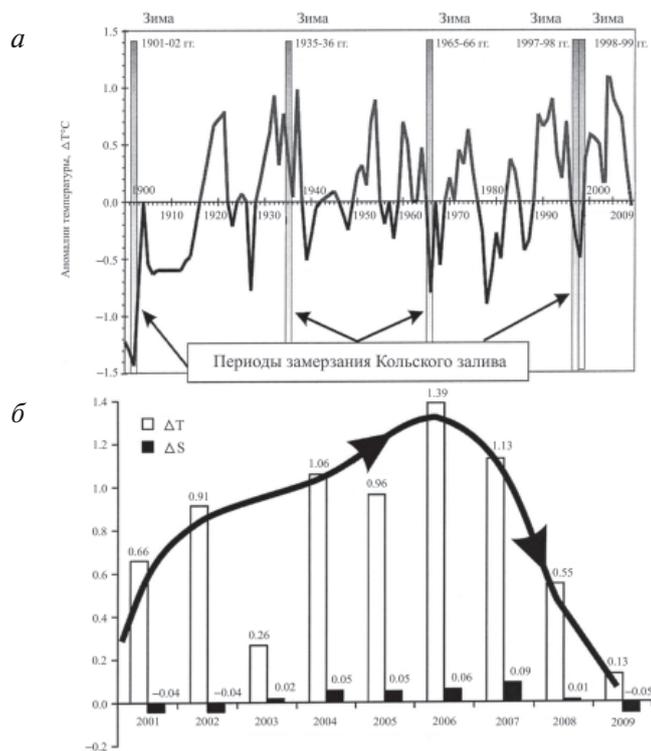


Рис. 3. Средневзвешенные аномалии температуры воды ($^{\circ}\text{C}$) на разрезе «Кольский меридиан» в слое 0–50 м с 1900 по 2009 г. (а) и в слое 0–200 м летом 2001–2009 г. (б) по данным экспедиций на НИС «Дальние Зеленцы»

Анализ многолетней и сезонной изменчивости ледового режима морей Западной Арктики ранее был проведен Г.К.Зубакиным [10] и Е.У.Мироновым [32]. Новые данные о ледовитости Баренцева моря и его отдельных районов приведены также в работах [4, 119], а о современных изменениях ледяного покрова Северного Ледовитого океана в целом в работе [1]. Для получения сопоставимых данных и выполнения собственных оценок климатической тенденции в ММБИ была сформирована электронная база данных по распределению льда и основным параметрам ледовитости Баренцева моря. Она содержит временные ряды ежемесячных значений площади льда за 1960–2009 гг., а также 392 ежемесячные ледовые карты за период 1977–2009 гг. (архив данных дистанционного зондирования, размещенный на сайте ААНИИ). По этим материалам были рассчитаны ежемесячные и среднегодовые нормы и аномалии ледовитости Баренцева моря за указанный период.

По изменениям среднегодовой ледовитости все рассматриваемое 50-летие делится на два больших интервала: до начала 1990-х гг. — период с преобладанием тяжелых ледовых условий, с начала 1990-х гг. и до наших дней — период с благоприятными условиями. При этом на протяжении рассматриваемого промежутка времени происходило постепенное уменьшение площади льда до минимальных значений в 2006–2007 гг. Однако в 2008–2009 гг. наметилась тенденция к увеличению площади льда.

Наибольшая положительная аномалия (высокая ледовитость) за последние полвека наблюдалась в 1969 г. (+18 %), а наибольшая отрицательная (низкая ледовитость) — в 2006 г. (–21 %).

В многолетнем ходе аномалии ледовитости отличаются высокой инерционностью. По нашим данным, выделяются следующие периоды повышенной ледовитости (не ниже нормы в любом из месяцев) продолжительностью более одного года: январь 1963 г. — октябрь 1964 г. (22 месяца), январь 1966 г. — январь 1968 г. (25 месяцев), март 1968 г. — декабрь 1969 г. (22 месяца), ноябрь 1979 г. — август 1981 г. (22 месяца), декабрь 1981 г. — декабрь 1982 г. (13 месяцев), декабрь 1986 г. — март 1989 г. (26 месяцев). После 1990 г. длительность периодов повышенной ледовитости не превышала 6 месяцев, а после 2000 г. только в одном случае достигла 5 месяцев (ноябрь 2002 г. — март 2003 г.). Примечательно, что после исключения незначительной аномалии противоположного знака в феврале 1968 г. выделяется рекордно длительный период тяжелых ледовых условий, уложившийся строго в календарные рамки — с начала 1966 г. до конца 1969 г.

Продолжительность периодов аномально легких условий в 1960-х гг. не превышала 7 месяцев, позже имели место периоды более одного года: август 1972 г. — сентябрь 1973 г. (14 месяцев), январь 1984 г. — март 1985 г. (15 месяцев). Между 1985 и 2000 гг. понижения ледовитости были частыми, но относительно непродолжительными. С декабря 1999 г. по октябрь 2001 г. пониженная ледовитость сохранялась 23 месяца. Далее после некоторой стабилизации (средний показатель за 2003 г. превысил норму на 2 %) наступил беспрецедентный период пониженной ледовитости, с февраля 2004 г. по настоящее время (декабрь 2009 г.). В ряду средних многолетних значений 2006, 2007 и 2008 гг. оказались наименее ледовитыми — соответственно 17, 18 и 22 %.

Полное очищение Баренцева моря ото льда продолжительностью 1 месяц и более за рассмотренный период случалось 10 раз, все эти случаи приходятся на август–октябрь. В 1972, 1984 и 2000 гг. безледный период длился до 3 месяцев, тогда как в аномально легкие 2004 и последующие годы его продолжительность не превышала 2 месяца.

Показатели, осредненные в гидрографических границах морей, не всегда дают полное представление об особенностях ледового режима, важных для функционирования морских экосистем. Для морей Западной Арктики большое значение имеют ледовые условия прибрежных зон. Здесь выделяются три типа побережий:

1) прибрежная зона незамерзающей части Баренцева моря, где тем не менее возможно образование льда в изолированных бухтах и на приливных осушках, а также его вынос с речным стоком; 2) побережье Белого и юго-востока Баренцева моря, включая баренцевоморский берег Новой Земли, где существует регулярное чередование ледовых и безледных периодов; 3) архипелаги Земля Франца-Иосифа и Шпицберген (кроме его относительно теплого юго-западного берега), где ледяной покров возможен в любом месяце.

В юго-западной части Баренцева моря наиболее важны для морской деятельности ледовые условия Кольского залива, на который приходятся не менее 90 % населения прибрежной зоны и практически весь гражданский судооборот. Со стороны открытого моря дрейфующие льды не подходили к Кольскому заливу ни разу за всю историю наблюдений. Непосредственно в заливе возможно образование льда вследствие более суровых зимних условий по сравнению с открытым побережьем и обильного речного стока. В зимы, близкие к норме, в заливе наблюдается только плавучий лед, который постоянно выносится в море приливными и стоковыми течениями. В аномально холодные зимы 1901/02, 1935/36, 1965/66, 1997/98 и 1998/99 гг. акватория залива до среднего колена (о. Сальный) покрывалась припайным льдом, который сохранялся более месяца [14, 23]. Все эти случаи совпадали со значительными отрицательными аномалиями температуры воздуха при отсутствии ярко выраженных аномалий температуры, солености и ледяного покрова в открытых районах моря.

В Белом море ледовый сезон в среднем длится с декабря по май. В эти месяцы наблюдается значительная пространственно-временная изменчивость ледовых условий в открытых районах, но в прибрежных зонах они относительно устойчивы. На юго-востоке Баренцева моря сезонный ледяной покров отличается наибольшей стабильностью. Его формирование начинается обычно в ноябре в Печорской и Хайпудырской губах, после чего он в короткий срок распространяется на всю береговую линию от Канина Носа до Карских Ворот и далее вдоль всего баренцевоморского побережья Новой Земли. С января по апрель вся эта береговая зона стабильно покрыта льдом, кромка которого медленно смещается в центральную часть Баренцева моря, достигая максимального западного положения (до 40° в.д.), как правило, в апреле. Сокращение и разрушение льда обычно приходится на июнь. За весь период, освещенный ледовыми картами, ледовый период на юго-востоке Баренцева моря гарантированно был не менее 4 месяцев (январь—июнь), и только в аномальные сезоны 2007/08 и 2008/09 гг. сплошной ледяной покров на юго-востоке Баренцева моря устанавливался в феврале. Однако в конце 2009 г. сроки его формирования приблизились к норме.

Арктические архипелаги постоянно окружены льдом с октября по июнь, однако в короткий теплый период ледовая обстановка в их прибрежных водах чрезвычайно изменчива. Так, для Земли Франца-Иосифа (ЗФИ) в августе—сентябре возможен набор ситуаций от полного закрытия всех островов до полного очищения прибрежной зоны. В июне—июле (и даже, как исключение, в мае) могут возникать устойчивые заприпайные полыньи как на южном, так и на северном побережьях ЗФИ [34]. Такие ситуации резко участились начиная с 1997 г.

Частичное освобождение прибрежной зоны ЗФИ ото льда обычно длится 2–3 месяца, с июля или августа по сентябрь. Примечательным исключением был период с 1993 по 1999 г. В 1993, 1996 и 1999 гг. такие условия наблюдались только в сентябре, в 1994 г. прибрежная зона была полностью закрыта льдом во все месяцы. Вместе с тем в 1997 и 1998 гг. те или иные участки были свободны ото льда с мая по сентябрь.

Полное очищение прибрежных вод ЗФИ случалось в отдельные месяцы лишь в виде исключения: в сентябре 1984 и 1985 гг., в августе и сентябре 2000 г., в сентябре 2005 и 2008 гг. Резко аномальным был октябрь 2009 г., когда кромка льда почти везде устойчиво проходила севернее ЗФИ. В ноябре—декабре 2009 г.

ледовые условия ЗФИ вернулись к норме, но в целом на Баренцевом море сохранялись аномально легкие условия.

За этим единственным исключением, полное замерзание прибрежных вод ЗФИ всегда отмечалось в сентябре или октябре. Сроки разрушения льда были более изменчивы и на протяжении рассмотренного периода сместились к более ранним. Если в 1987–1997 гг. разрушение начиналось не раньше июня, то, начиная с 2000 г. оно систематически отмечается в мае–июне (правда, это может объясняться и более полным выявлением полыней на спутниковых картах).

Таким образом, ледовые условия Западной Арктики во второй половине XX в. в целом оставались стабильными. Крупная положительная аномалия температуры воды 2000–2008 гг. сопровождалась столь же ярко выраженным уменьшением общей ледовитости Баренцева моря. Однако закономерности изменчивости ледовых условий и, следовательно, среды обитания в разных прибрежных зонах были не столь однозначными. Наиболее продуктивные и чувствительные к разного рода воздействиям участки побережий подвержены более частым и разнонаправленным ледовым аномалиям.

РЕАКЦИЯ МОРСКОЙ БИОТЫ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Морские экосистемы Европейской Арктики находятся под воздействием климатической изменчивости среды, трофодинамики на разных уровнях и, что особенно важно для Баренцева моря, промыслового изъятия биоресурсов [22, 27]. Единой методики выделения климатической составляющей в многолетней изменчивости биологических показателей в настоящее время нет, поэтому многие выводы о влиянии климата на морские экосистемы носят характер экспертных оценок. Так, в работе [37] приведены сводные данные о биомассе морских организмов в атлантической водной массе Баренцева моря. В период «потепления Арктики» (1930-е гг.) она была следующей: фитопланктон – 8 млрд т, зоопланктон – 1,2 млрд т, планктоноядные рыбы – 180 млн т, хищные рыбы – 27 млн т. Для холодного периода (конец 1960-х – начало 1970-х гг.) эти показатели были намного ниже: фитопланктон – 2 млрд т, зоопланктон – 300 млн т, планктоноядные рыбы – 45 млн т, хищные рыбы – 3–4 млн т. Это связано с тем, что естественное запаздывание в развитии зоопланктона в холодном году приводит к неполной утилизации в поверхностных слоях первичного органического вещества, которое оседает на дно, т.е. не вводится в пищевой оборот: система оказывается несбалансированной.

Анализ продуктивности морских экосистем основывается на данных о первичной продукции, выраженных в количестве органического углерода $C_{\text{орг}}$, создаваемого первичными продуцентами на единице площади в единицу времени. Такие наблюдения длительное время проводятся в разных районах океана, неоднократно публиковались сводки данных по Баренцеву морю [17, 33], однако, как отмечается в обзорных работах, имеющиеся данные отрывочны, неоднородны в пространстве и времени, часто несопоставимы методически. Появление результатов дистанционного зондирования пока не изменило ситуацию, так как они не свободны от методических погрешностей и не позволяют получить ретроспективные оценки.

Как следует из результатов выполненной в ММБИ реконструкции многолетней изменчивости первичной продукции Баренцева моря, основанной на обобщенных данных о сезонном ходе этого показателя [19], в период с 1964 по 2002 г. он варьировал от 23 в 1970 г. до 69 ($C_{\text{орг}}/м^2$ в год) в 2002 г. Аномалии продуктивности не коррелированы с аномалиями средней годовой температуры воды на Кольском разрезе (следует иметь в виду, что продуктивность осреднялась по всей акватории Баренцева моря, тогда как закономерности ее изменений в атлантической, арктической и прибрежных водных массах значительно различаются [20]).

Реакция зоопланктонных сообществ Баренцева моря на климатические воздействия ранее была исследована С.Ф.Тимофеевым [35]. Выявлен ряд различий

в динамике биомассы отдельных таксономических групп, обусловленных как изменениями в интенсивности поступления атлантических вод, так и региональными факторами (метеорологическими условиями прибрежной зоны, речным стоком). Так, наиболее чувствителен к воздействию атлантических вод вид *Calanus finmarchicus*, популяция которого формируется в водах Нордкапского течения. Эта закономерность свойственна и сообществам фитопланктона.

Многие виды зообентоса являются прекрасными индикаторами климатических изменений [38]. При этом сообщества бентоса, в отличие от планктонных, более консервативны и реагируют на продолжительные аномалии температуры воды в водной толще. По данным бентосных съемок на Кольском разрезе, выполненных в период «потепления Арктики» 1930–1940-х гг. и в современную эпоху, установлена устойчивая связь между аномалиями температуры воды и биомассой бентоса. Показано, что запаздывающий отклик биомассы на колебания температуры воды составляет от 3 до 8 лет в зависимости от продолжительности жизненного цикла особей тех или иных видов [36]. В качестве примера можно привести результаты анализа изменений видового состава и биомассы полихет на Кольском разрезе по данным нескольких съемок, выполненных с 1995 по 2007 г. [8]. Холодная аномалия 1997 г. сопровождалась интенсивным развитием арктической фауны, тогда как потепление середины 2000-х гг. привело к росту численности и биомассы бореально-арктических и бореальных видов.

Следует учитывать, что структура донных сообществ, зарегистрированная в различные годы, может быть не только индикатором периодов потепления или похолодания Баренцева моря, но и следствием донного тралового рыболовства в промысловых районах Баренцева моря [7].

Климатические изменения морской среды оказывают решающее влияние на миграции промысловых рыб и, как следствие, на географию рыбного промысла. Выполненное в ММБИ совместное обобщение климатической и промысловой информации за 30-летний период [9, 30] позволило установить закономерности миграций самого массового объекта промысла – баренцевоморской трески в зависимости от температуры воды и ледовой обстановки. Так, в экстремально холодный период конца 1970-х гг. границы нагульного ареала трески на востоке не выходили далее Мурманского мелководья и его северного склона, а в северо-западной части моря скопления трески к окончанию нагульного периода едва достигали Зюйдкапского желоба и Восточного склона Медвежинской банки (рис. 4а).

С наступлением теплой фазы климатических колебаний в начале 1990-х гг. началось перераспределение основных миграционных потоков трески. В аномально теплый период (2004–2006 гг.) миграционные потоки были направлены как на восток, так и на север (рис. 4б). При этом на востоке скопления трески в сентябре–октябре достигли прибрежных вод Новой Земли между 70–74° с.ш. Однако основной миграционный поток был все же направлен в северном направлении (район Надежды, Возвышенность Персея). Здесь промысловые скопления трески в августе–октябре распределялись на широкой акватории. На севере Возвышенности Персея рыба почти достигла 79° с.ш. (2005 г.), а на востоке треска по желобу Персея доходила до 42° в.д. (2006 г.).

Некоторая часть скоплений трески мигрировала в северном направлении по Центральной и Северной ветвям Нордкапского течения через Нордкинскую и Демидовскую банки в район Центральной возвышенности.

В целом в годы с высокой ледовитостью промысел, как правило, был ограничен районами в южной и юго-западной частях моря, в годы с отрицательными аномалиями ледовитости акватория лова расширялась в восточном и особенно в северном направлениях. При этом уже в апреле на северо-западе Баренцева моря успешный промысел велся севернее 76° с.ш. (рис. 5).

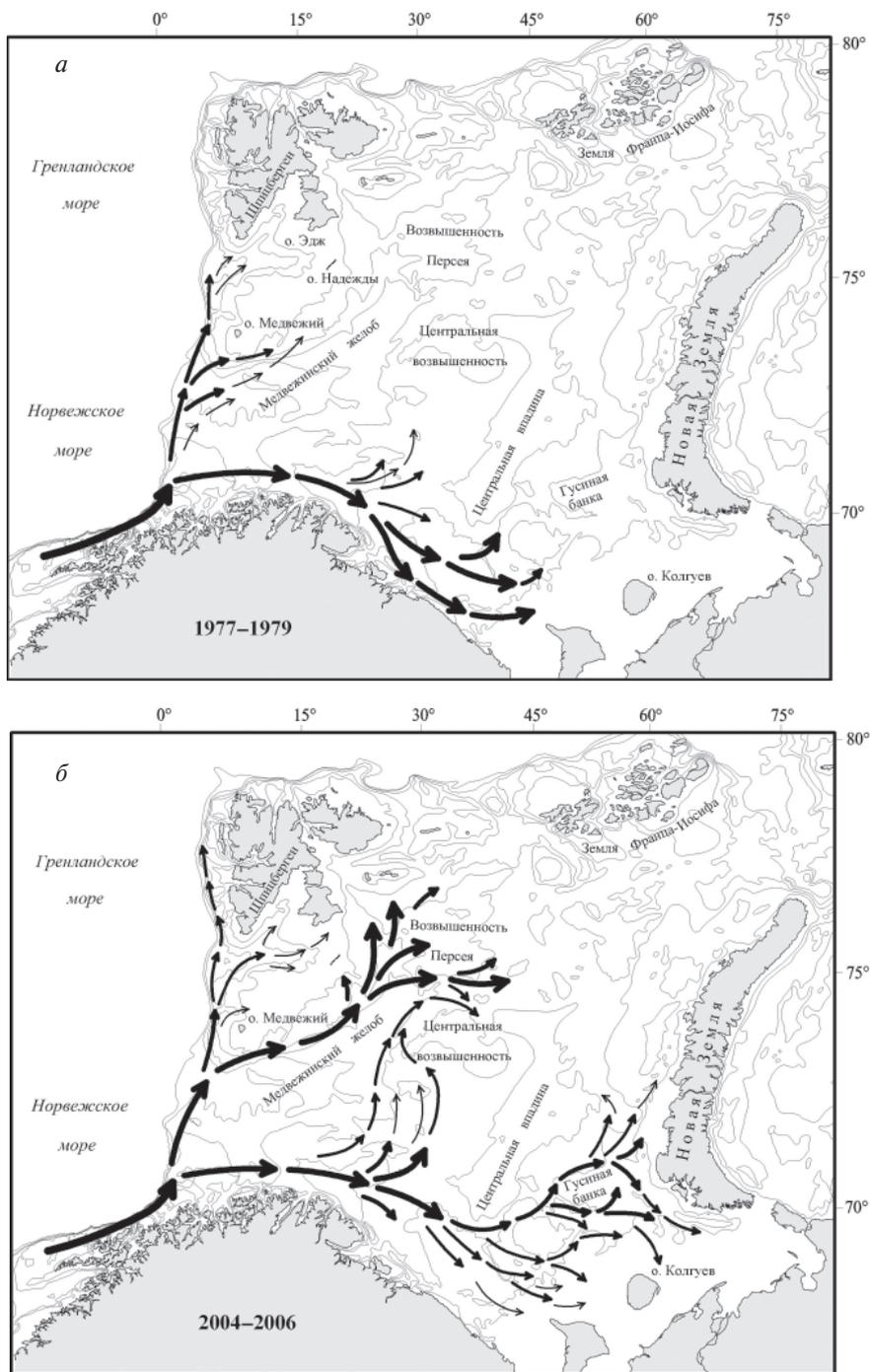


Рис. 4. Схема миграций промысловых скоплений трески в Баренцевом море в аномально холодные (а) и аномально теплые (б) годы

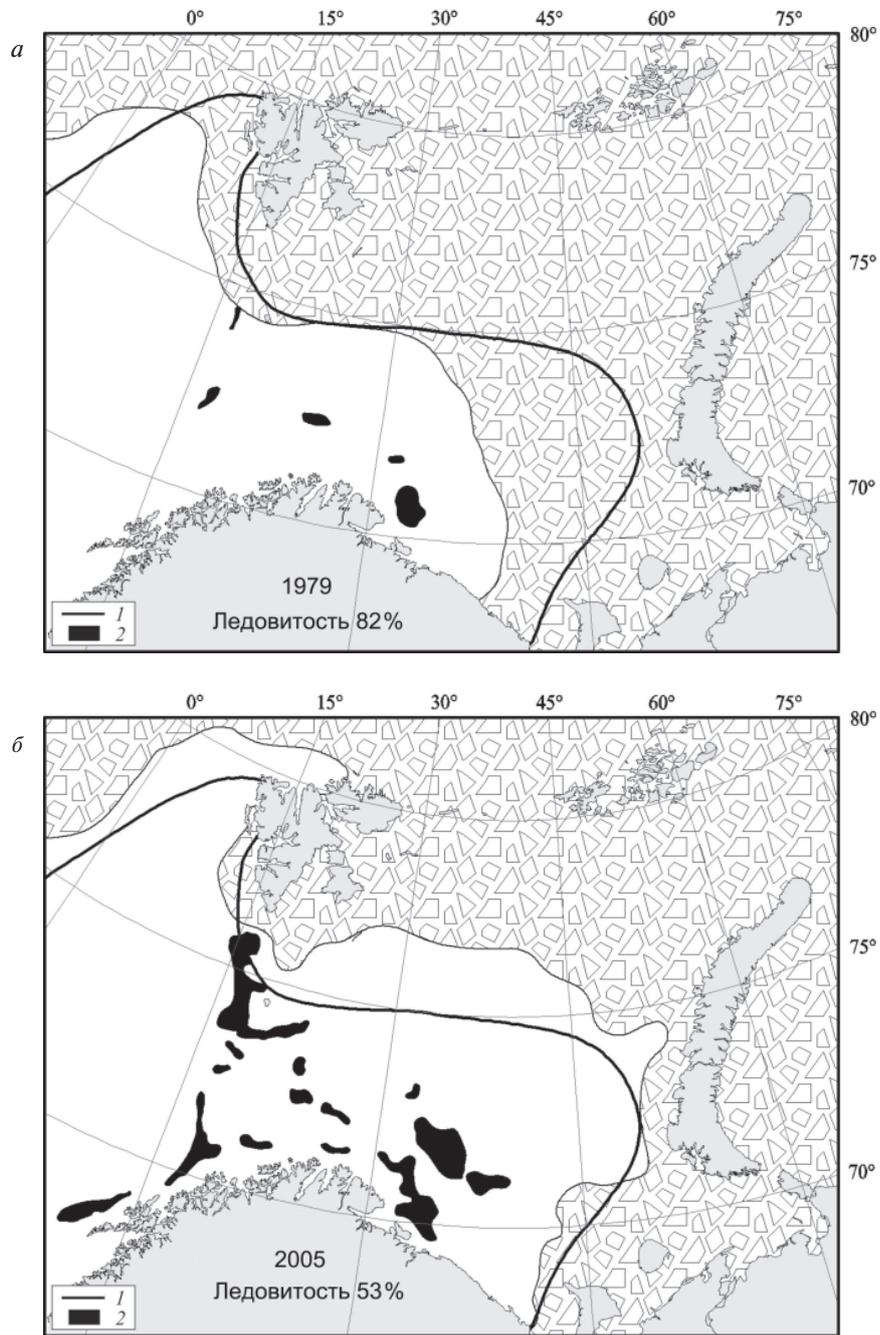


Рис. 5. Распространение льда и участки промысла трески в Баренцевом море в апреле холодного (а) и теплого (б) климатических периодов:
 1 – среднее многолетние положение кромки льда в апреле, 2 – участки промысла

Для некоторых видов морских млекопитающих дрейфующие и припайные льды представляют собой среду обитания, поэтому климатические изменения могут оказать на них прямое воздействие. В научно-популярных изданиях и СМИ в последние годы особое внимание привлекается к судьбе белых медведей в условиях сокращения площади арктических льдов. По нашему мнению, эти опасения преувеличены. Как было показано выше, в окрестностях арктических архипелагов изменчивость ледяного покрова в летне-осенние месяцы очень высока даже в условиях стабильного ледового режима, поэтому белые медведи, ластоногие и другие представители морской фауны хорошо адаптированы к аномалиям разного масштаба. Это свойственно и другим таксономическим группам, населяющим литоральную зону. Так, водоросли-макрофиты на побережьях Баренцева и Белого морей устойчивы к образованию припайных льдов, кратковременным обмерзаниям литорали, воздействию штормового волнения на открытых участках побережья [5].

Можно полагать, что вековые климатические изменения не нарушают устойчивость экосистем, но могут стимулировать определенные перестройки видового состава и трофических связей. В этом отношении показательна история популяции вида-вселенца — камчатского краба в прибрежной зоне Кольского полуострова. Он был интродуцирован специалистами ММБИ в 1961–1966 гг., но длительное время численность популяции, остававшейся без внешней подпитки, была незначительной. Только в 1974 г. было подтверждено выживание краба в естественных условиях, до конца 1980-х гг. его численность не превышала 100 тыс. экз. С начала 1990-х гг. популяция стала расти по экспоненциальному закону и за несколько лет вышла на уровень 5–10 млн экз. Это совпало с преобладанием теплых аномалий в атлантической водной массе. Максимальная численность, оцениваемая в 21 млн экз., была достигнута в 2003 г. По мнению специалистов, при такой численности неизбежно резкое уменьшение биомассы бентоса, составляющего кормовую базу краба, что приведет к значительным изменениям структуры и динамики прибрежной экосистемы [3, 18].

Результаты комплексного анализа показателей состояния морских экосистем Европейской Арктики позволяют сделать следующие выводы.

1. Моря Европейской Арктики испытывают влияние глобального климатического фона преимущественно опосредствованно, через изменения океанической и атмосферной циркуляции. Колебания теплового состояния Баренцева моря непосредственно влияют на продуктивность экосистем и тем самым определяют изменения естественного биоресурсного потенциала.

2. Потепление и снижение ледовитости Баренцева моря, отмеченные в первом десятилетии XXI в., по интенсивности и продолжительности сопоставимы с потеплением 1920–1930-х гг. В самые последние годы (2007–2009 гг.) этот процесс сменился противоположным, и океанологические показатели приблизились к норме. Есть основания полагать, что дальнейшие изменения климатической системы будут носить циклический характер с периодом, близким к 30 годам.

3. Морские экосистемы хорошо адаптированы к многолетней изменчивости условий среды. Как правило, их состояние в большей степени зависит от антропогенных нагрузок (промыслового изъятия биоресурсов, преднамеренного и непреднамеренного вселения чужеродных видов).

4. Наиболее достоверным индикатором климатических изменений среды являются бентосные сообщества. Их реакция проявляется в изменениях численности и биомассы отдельных видов, а также в изменениях видового состава (соотношения между бореальными и арктическими видами).

5. Одним из важнейших следствий климатической динамики являются изменения ареалов промысловых видов рыб. Это влечет за собой смену районов дис-

локации промыслового флота и, как следствие, перераспределение промысловых нагрузок на морские экосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев Г.В., Захаров В.Ф., Иванов Н.Е.* Изменения современного климата Арктики // Труды ААНИИ. 2007. Т. 447. С. 7–17.
2. Биология и океанография Северного морского пути. Баренцево и Карское моря. М.: Наука, 2007. 323 с.
3. Биология и физиология камчатского краба прибрежья Баренцева моря / Отв. ред. Г.Г.Матишов; Мурман. мор. биол. ин-т КНЦ РАН. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. 170 с.
4. *Бужин И.В.* Оценки отдельных элементов ледового режима северо-восточной части Баренцева моря и шельфа Новой Земли // Труды ААНИИ. 2008. Т. 450. С. 111–131.
5. *Воскобойников Г.М.* Механизмы адаптации и регуляции роста у морских макрофитов Баренцева моря // Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки. Тез. докл. Межд. науч. конф. (Мурманск, 10–12 марта 2010 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2010. С. 42–44.
6. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Под ред. Ф.С.Терзиева и др. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 280 с.
7. *Денисенко С.Г.* Многолетние изменения донной фауны Баренцева моря и гидрологические флюктуации вдоль разреза «Кольский меридиан» // 100 лет океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море: Сб. докл. Междунар. симпозиума. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005. С. 65–76.
8. *Дикаева Д.Р.* Многолетние изменения полихет на разрезе «Кольский меридиан» (Баренцево море) в период климатических колебаний // Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки. Тез. докл. Межд. науч. конф. (Мурманск, 10–12 марта 2010 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2010. С. 63–64.
9. *Жичкин А.П.* Атлас российского промысла трески в Баренцевом море (1977–2006 гг.). Мурманск: Радица, 2009. 212 с.
10. *Зубакин Г.К.* Крупномасштабная изменчивость состояния ледяного покрова Северо-Европейского бассейна. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 160 с.
11. *Зубакин Г.К., Бужин И.В.* Характеристика многолетних изменений параметров климатической системы Баренцевоморского региона и возможный механизм ее развития // Труды ААНИИ. 2008. Т. 450. С. 59–80.
12. *Зубов Н.Н.* Льды Арктики. М.: Изд. Главсевморпути, 1945. 360 с.
13. *Карсаков А.Л.* Закономерности и особенности режима вод Баренцева моря (по наблюдениям на вековом разрезе «Кольский меридиан»): Дис. ... канд. геогр. наук. Мурманск, 2010. 199 с.
14. Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. 381 с.
15. Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна (проект подпрограммы «Исследование природы Мирового океана» федеральной целевой программы «Мировой океан»). Вып. 1. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2004. 557 с.
16. Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна (проект подпрограммы «Исследование природы Мирового океана» федеральной целевой программы «Мировой океан»). Вып. 2. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. 633 с.
17. *Кузнецов Л.Л., Шошина Е.В.* Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. 308 с.
18. *Кузьмин С.А., Гудимова Е.Н.* Вселение камчатского краба в Баренцево море. Особенности биологии, перспективы промысла. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. 236 с.
19. *Макаревич П.Р.* Структура и функционирование планктонных альгоценозов эстуарных экосистем шельфовых морей: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук (25.00.28 – океанология). Мурманск, 2004. 45 с.

20. Макаревич П.Р., Дружкова Е.И. Сезонные циклические процессы в прибрежных планктонных альгоценозах северных морей. Ростов н/Д: Изд. ЮНЦ РАН, 2010. 280 с.
21. Матишов Г.Г. Дно океана в ледниковый период. Л.: Наука, 1984. 176 с.
22. Матишов Г.Г. Что воздействует на величину морских рыбных ресурсов? // Вестник РАН. 2004. Т. 74. № 8. С. 690–695.
23. Матишов Г.Г. Изменчивость климатического и ледового режимов и их влияние на судоходство в арктических и южных морях // Вестник РАН. 2008. Т. 78. № 10. С. 896–902.
24. Матишов Г.Г., Берестовский Е.Г., Матишов Д.Г. и др. Биоокеанографические признаки похолодания в Западной Арктике // Докл. РАН. 1999. Т. 368. № 2. С. 254–258.
25. Матишов Г.Г., Волков В.А., Денисов В.В. О структуре циркуляции теплых атлантических вод в северной части Баренцева моря // Докл. РАН. 1998. Т. 362. № 4. С. 553–556.
26. Матишов Г.Г., Голубев В.А., Жичкин А.П. Температурные аномалии вод Баренцева моря в летний период 2001–2005 гг. // Докл. РАН. 2007. Т. 412. № 1. С. 112–114.
27. Матишов Г.Г., Денисов В.В. Экосистемы и биоресурсы европейских морей России на рубеже XX и XXI веков. Мурманск: ООО «МИП-999», 1999. 124 с.
28. Матишов Г.Г., Денисов В.В., Дженьюк С.Л. Современный климатический тренд в Западной Арктике и состояние биоресурсов Баренцева моря // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М.: Научный мир, 2001. С. 289–295.
29. Матишов Г.Г., Дженьюк С.Л. Научные изыскания в Арктике // Вестник РАН. 2007. Т. 77. № 1. С. 11–21.
30. Матишов Г.Г., Жичкин А.П. Опыт создания базы данных по географии рыболовства как интегрального показателя пространственно-временной изменчивости состояния больших морских экосистем // Вестник ЮНЦ. 2008. Т. 4. № 4. С. 31–37.
31. Матишов Г.Г., Зуев А.Н., Голубев В.А., Левитус С., Смоляр И. Мегабаза данных по океанографии и биологии морей Западной Арктики // Докл. РАН. 2005. Т. 401. № 2. С. 252–255.
32. Миронов Е.У. Ледовые условия в Баренцевом и Гренландском морях и их долгосрочный прогноз. СПб.: ААНИИ, 2004. 320 с.
33. Романкевич Е.А., Ветров А.А. Цикл углерода в арктических морях России. М.: Наука, 2001. 302 с.
34. Среда обитания и экосистемы Земли Франца-Иосифа (архипелаг и шельф) / Коллектив авторов. Апатиты, 1994. 256 с.
35. Тимофеев С.Ф. Влияние климатических факторов на изменчивость биомассы зоопланктона в различных частях Баренцева моря // Вековые изменения морских экосистем Арктики. Климат, морской перигляциал, биопродуктивность. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. С. 33–49.
36. Фролова Е.А., Любина О.С., Дикаева Д.Р., Ахметчина О.Ю., Фролов А.А. Влияние климатических изменений на зообентос Баренцева моря (на примере нескольких массовых видов) // Докл. РАН. 2007. Т. 416. № 1. С. 1–3.
37. Эволюция экосистем и биогеография морей Европейской Арктики / Матишов Г.Г., Тимофеев С.Ф., Дробышева С.С., Рыжов В.М. СПб.: Наука, 1994. 222 с.
38. Galkin Yu.I. Long-term changes in the distribution of mollusks in the Barents Sea related to the climate // Berichte zur Polarforschung. 1998. Vol. 287. P. 100–143.
39. Koenigk T., Mikolajewicz U., Jungclaus J.H., Kröll A. Sea ice in the Barents Sea: seasonal to interannual variability and climate feedbacks in a global coupled model // Climate Dynamics. 2009. Vol. 32. P. 1119–1138.
40. Levitus S., Matishov G., Seidov D., Smolyar I. Barents Sea Multidecadal Variability // Geophysical Research Letters. 2009. Vol. 36. P. 1–13.
41. Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V. Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along Glacial Troughs // Oceanologia. 2009. Vol. 51. No. 3. P. 293–312.
42. Vinje T. Anomalies and trends of sea-ice extent and atmospheric circulation in the Nordic Seas during the period 1864–1998, 2001 // J. Climate. № 14(3). P. 255–267.

G.G.MATISHOV, S.L.DZHENYUK, A.P.ZHICHKIN, D.V.MOISEEV

CLIMATIC CHANGES OF THE EUROPEAN ARCTIC MARINE ECOSYSTEMS

Contemporary climatic trends of the Barents Sea water temperature and ice cover area as main indices of the European Arctic marine ecosystems are characterized. The response of ecosystems on the climatic changes of the different trophic levels (plankton and benthic communities, commercial fish species) is investigated. The detection of climatic component of the ecosystem dynamics is possible only if intentional and unintentional anthropogenic impacts (withdrawal by fishery, bottom trawling, introduction of foreign species) are taken into account.

Keywords: European Arctic, Barents Sea, marine ecosystems, climate, water temperature, ice cover area, plankton, bentos, commercial fish fauna.