

УДК 551.465

## ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗАПАДНОЙ АРКТИКИ В XX–XXI вв.

© 2011 г. Академик Г.Г. Матишов<sup>1,2</sup>, Д.В. Моисеев<sup>2</sup>, О.С. Любина<sup>2</sup>, А.П. Жичкин<sup>2</sup>, С.Л. Дженюк<sup>2</sup>, П.Р. Макаревич<sup>2</sup>, Е.А. Фролова<sup>2</sup>

В статье рассмотрена возможность использования морских организмов в качестве ключевых индикаторов циклических изменений климата Западной Арктики. Системный анализ базы океанографических и гидробиологических данных Мурманского морского биологического института с учетом литературных материалов позволил дать оценку океанологической ситуации на рубеже XX и XXI веков. Выявлены зависимости между термическим состоянием западно-арктических морей и особенностями распределения обитающих в них организмов на разных экосистемных уровнях. Показано, что при отсутствии или недостатке гидрометеорологической информации климатическая динамика может оцениваться по биологическим показателям: численности, видовому составу, биомассе, миграциям морских организмов.

**Ключевые слова:** климат, цикличность, аномалии, температура, лед, виды-индикаторы, атлантическая треска, бентос, камчатский краб, полихеты.

### ВВЕДЕНИЕ

Климатические изменения морских экосистем – одна из важнейших проблем современной океанологии. Успешность долгосрочных прогнозов климата, биоресурсного потенциала и условий морской деятельности зависит от корректной интерпретации данных о современных гидрофизических и биологических процессах. Необходимо оценить вклад естественных и антропогенных факторов в климатические аномалии, которые были особенно ярко выражены в последние годы.

Четвертичный период на протяжении нескольких миллионов лет характеризовался эпохами глобального похолодания и потепления климата. В эпохи похолоданий в умеренных широтах формировались материковые оледенения и океанический перигляциал. Бореальная фауна и флора смещались до субтропической зоны [1–5]. В голоцене, т.е. последние десять тысяч лет, самым теплым считался период атлантического оптимума – около 6,8 тыс. лет назад [6].

За последние столетия отмечены циклические изменения климата и состояния ледяного покрова, заведомо не связанные с антропогенными воздей-

ствиями. Так, на европейской территории России хорошо документированы многочисленные климатические экстремумы на протяжении XVIII века (конец “малого ледникового периода”), тогда как в XIX веке наступила относительная стабилизация [7]. В Антарктиде, наиболее удаленной от всех источников промышленного загрязнения, на протяжении XX века выводные ледники выдвигались и отступали с периодичностью от 25 до 50 лет [8]. Организмы, обитающие в полярных районах, чувствительны к циклическим изменениям климата и могут служить индикаторами таких изменений [9, 10]. Реакция организмов различна в зависимости от продолжительности жизни и смены жизненных циклов, активных и пассивных миграций, трофических взаимодействий.

В пределах Западной Арктики выделяются большие морские экосистемы (БМЭ) Восточно-Гренландского шельфа, Норвежского шельфа, Баренцева моря (объединенного с Белым) и Карского моря [11]. Каждая из них имеет свою специфику палеогеографии плейстоцена, свою эволюцию биогеоценозов в голоцене и на современном этапе. Ключевое положение в Западной Арктике занимает БМЭ Баренцева моря [12]. В условиях гляциального шельфа происходит крупномасштабное взаимодействие атлантических и арктических водных масс и формируется погода Северной Европы. На протяжении XX века рыбный промысел в Баренцевом море играл важнейшую роль в продовольственном балан-

<sup>1</sup> Южный научный центр Российской академии наук, 344006, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41.

<sup>2</sup> Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, 183010, Мурманск, ул. Владимирская, 17; e-mail: matishov@mmbi.info, denis\_moiseev@mmbi.info

се России (СССР), Норвегии и других стран. От достоверных прогнозов погоды и климата зависят стратегии устойчивой эксплуатации морских биоресурсов, развития судоходства по Севморпути, добычи нефтяных углеводородов на шельфе и других видов морской деятельности.

При отсутствии или неполноте гидрометеорологических данных климатическая динамика может оцениваться по биологическим показателям: численности, видовому составу, биомассе, плотности поселений, миграциям морских организмов. Так, к числу приоритетных индикаторов изменений климата относятся сообщества бентали. В Баренцевом море среди нескольких тысяч видов донной фауны выделяются формы умеренных вод (бореальные), холодноводные (арктические) и относительно эвритермные (бореально-арктические, субтропическо-бореально-арктические). На юго-западе моря смыкаются арктическая и бореальная области, и поэтому существование тепловодных и холодноводных видов бентоса в этом районе происходит на границе их ареалов [13–16].

Развитие потепления в Баренцевом море способствует проникновению в море с запада на многие сотни километров бореальных видов зообентоса. Граница бореальной и арктической областей сдвигается на северо-восток. Аналогичные смещения данной границы в условиях изменений климата многократно отмечались в XX в. [14, 15, 17–20]. В зависимости от периодичности баренцевоморского климата происходят трансформации и в других звеньях экосистемы. Изменяются видовой состав и ареалы планктонных сообществ, пути миграции атлантической трески, запасы камчатского краба и других объектов промысла.

В настоящей работе на основе собственных данных Мурманского морского биологического института КНЦ РАН (далее – ММБИ) и литературных мы провели анализ ряда индикаторных показателей состояния морских экосистем, что позволило установить их связь (или отсутствие связи) с фактическими и прогнозируемыми изменениями климата Баренцева моря за более чем столетний период.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование климатической динамики экосистемы Баренцева моря проведено на основе базы океанологических и гидробиологических данных ММБИ, полученных в собственных экспедициях более чем за 75 лет и по результатам международного обмена. Массивы термохалинных данных по вековым разрезам Баренцева моря насчитывают более 220 000 гидрологических станций за период с 1900 по 2010 гг. [21–24]. По ним были рассчитаны

среднегодовые значения (нормы) и аномалии температуры воды.

В базе гидробиологических данных систематика видов произведена для более чем 3000 проб планктона и 1000 проб бентоса [23, 25–27]. Сбор и аналитическая обработка всех материалов выполнялись стандартными гидробиологическими методами с учетом опыта международных экспедиций. Межгодовая изменчивость численности массовых видов планктонных ракообразных изучена за период 1959–1990 гг. Использовалась количественная информация по зоопланктону, опубликованная в трудах ММБИ [9, 28]. Данные по обилию таксонов в слое 0–50 м в весеннее время (май) на разрезе “Кольский меридиан” группировались по годам со сходным термическим режимом. Определялись средние гидробиологические показатели для “аномально холодных”, “холодных”, “нормальных” и “теплых” лет.

Базовый материал для изучения динамики количественных показателей зообентоса был собран на участке разреза “Кольский меридиан” с 69°30′ по 74°30′ с.ш. в 1995, 1997, 1999, 2000, 2001, 2007 гг. дночерпателем ван-Вина (0,1 м<sup>2</sup>). Выборки для проведения анализа формировались с учетом гидрологических условий и специфики рассматриваемых таксономических групп.

Косвенным показателем сдвигов в морской среде может служить изменение ареалов промысловых рыб, о чем свидетельствует размещение судов на морской акватории. В Баренцевом море наиболее массовым промысловым видом является атлантическая треска. Анализ географии промысла этого вида проведен по сводным донесениям и данным дистанционного мониторинга положения рыболовецких судов за период 1977–2006 гг. Отдельно проанализированы условия адаптации камчатского краба, вселенного в Баренцево море в 1960-е гг. Численность чужеродного вида проанализирована по собственным и литературным материалам [29].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

##### *Гидрофизические показатели*

Среди факторов, определяющих климат полярных морей, ведущую роль играет адвекция тепла Северо-Атлантическим течением. В Баренцево море с запада поступают теплые и соленые воды атлантического происхождения. По разным оценкам интенсивность поступления атлантических вод в Баренцево море с запада составляет от 1,6 [30] до 2 Св (10<sup>6</sup> м<sup>3</sup>/с) [31, 32]. В начале XX в. адвекция атлантических вод резко увеличилась [24].

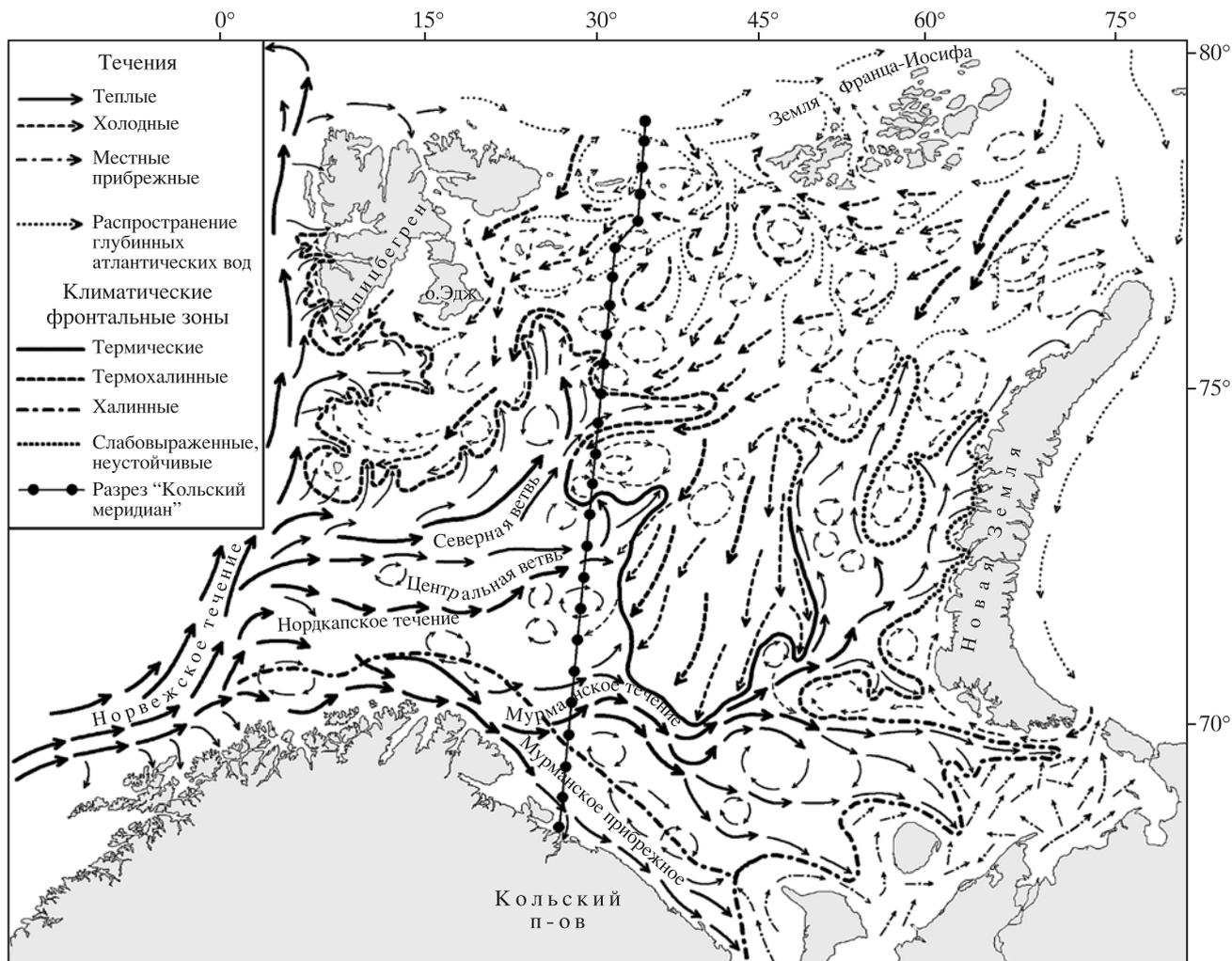


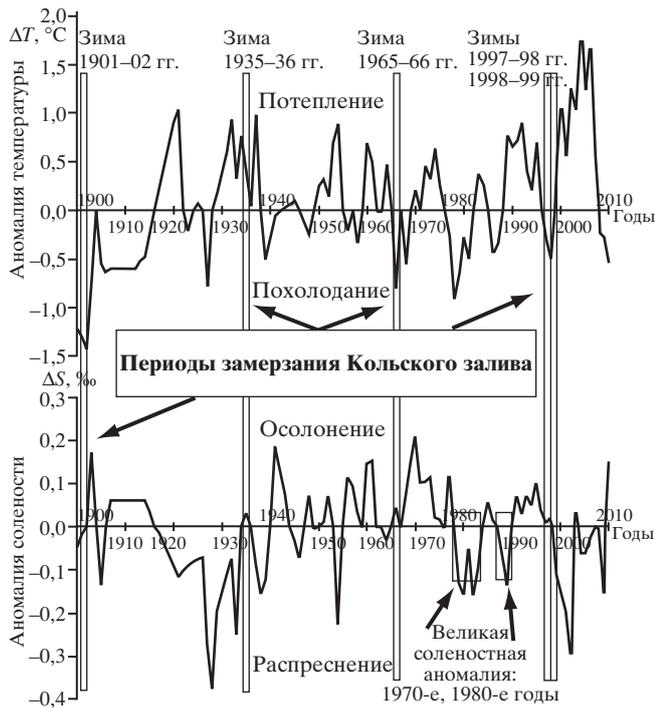
Рис. 1. Новая схема циркуляции вод Баренцева моря

Благодаря распространению атлантических вод в Баренцевом море существует устойчивая фронтальная зона протяженностью до полутора тысяч километров. Этот гидрофронт отделяет незамерзающую юго-западную часть от остальной акватории с трансформированной водной массой и сезонным ледяным покровом (рис. 1). Атлантические воды, растекаясь между банками вдоль подводных гляциальных желобов, образуют пространственно-временную термохалинную мозаику. Для объективного суждения о климатических тенденциях предпочтительно использовать осредненные значения гидрологических характеристик [24, 33].

На реперном разрезе “Кольский меридиан”, проходящем по  $33^{\circ} 30'$  в.д. (рис. 1) измерения начаты в 1900 г., прерывались в 1907–1920 и 1942–1944 гг., а с 1945 г. по настоящее время образуют почти непрерывный ряд [24, 34]. Как правило, регулярно исследуется участок разреза южнее  $74^{\circ}$  с.ш. [35]. Однако гораздо больший интерес представляет исследование на Центральной возвышеннос-

ти и севернее  $74^{\circ}$  с.ш. (рис. 1). В таких случаях зондируется термохалинная структура всех струй баренцевоморских вод, а также полярный фронт. Общим индикатором вариаций климата остается средняя температура атлантических вод в слоях 0–50, 0–200 м и 0 м (дно), что соответственно отражает процессы в деятельном слое и во всей водной толще северо-европейских морей [24, 36, 37].

Общие физико-географические закономерности отражают гидрофизические процессы в деятельном слое моря на разрезе “Кольский меридиан” (рис. 2). В вековой динамике климата теплые циклы отмечались неоднократно. Наиболее ярко выраженной была теплая климатическая фаза в 1920–1930-е гг. Климатический феномен первой половины XX в., известный как “потепление Арктики”, проявился в повышении температуры на побережьях и островах, сокращении сезонного ледяного покрова в арктических морях [24, 38]. На Кольском разрезе были отмечены две волны потепления с аномалиями температуры до  $+1,0^{\circ}\text{C}$  в начале 1920-х гг. и на про-

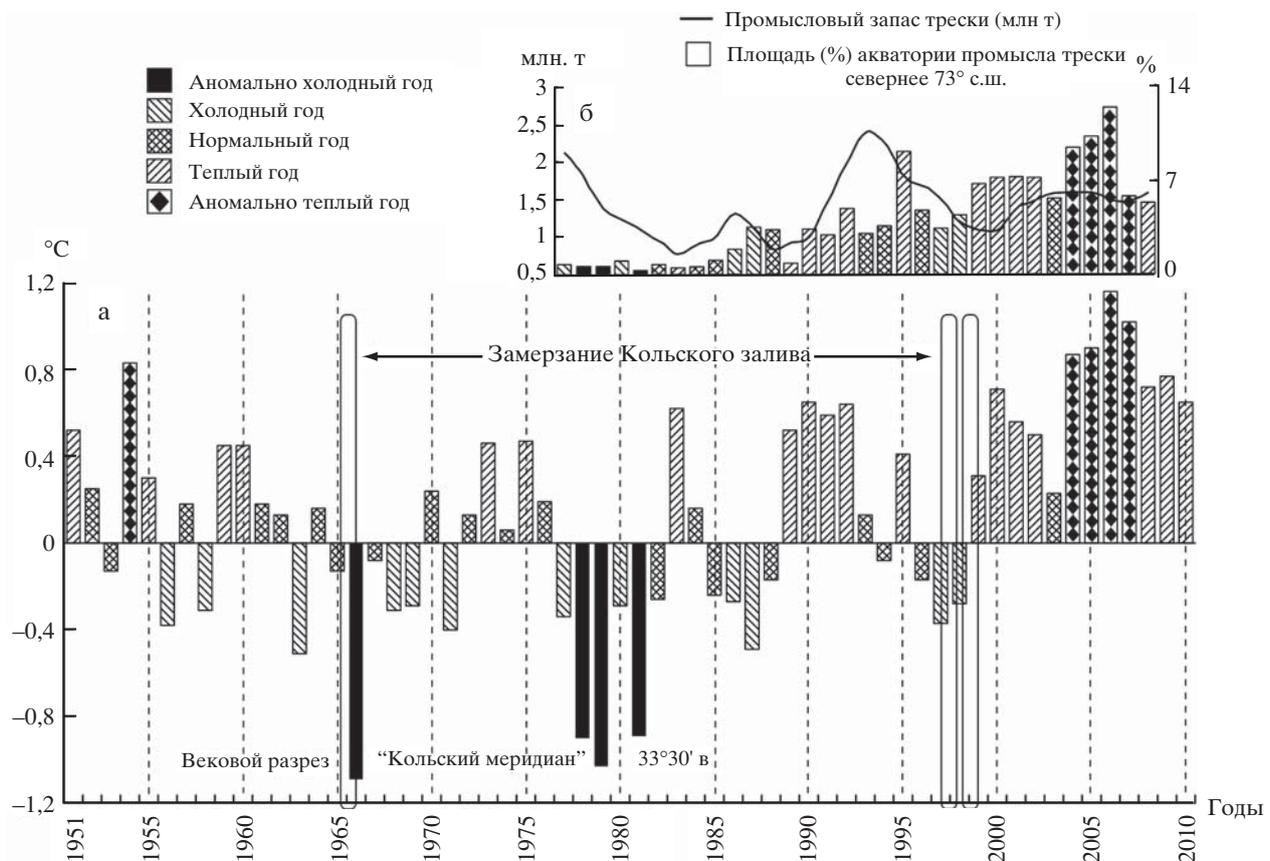


**Рис. 2.** Средневзвешенные аномалии температуры воды (°C) и солености (‰) на разрезе “Кольский меридиан” в слое 0–50 м с 1900 по 2010 гг. по данным ММБИ (период “великой соленостной аномалии”, по [37])

тяжении большей части следующего десятилетия. Среди причин потепления выделялось совпадение по фазе 11-летнего и 90-летнего циклов солнечной активности и 250-летнего цикла изменения скорости вращения Земли [39].

Новая тенденция к потеплению в арктических морях стала отмечаться в конце 80-х годов прошлого столетия. В начале XXI в. продолжала нарастать адвекция Северо-Атлантического течения. В Баренцевом море теплая аномалия в водном слое 0–200 м достигла пика в период с 2001 по 2006 гг.

Для побережий Шпицбергена, Земли Франца-Иосифа, Новой Земли была характерна относительно теплая погода. Однако термический оптимум не развивался по нарастающей. Кратковременное похолодание деятельного слоя отмечалось в 1997–1999 гг. [24, 40]. В самом кон-



**Рис. 3.** Внутривековая цикличность климата Баренцева моря на примере термического режима Мурманского течения (а); многолетние изменения запаса трески и акватории промысла к северу от 73° с.ш. (в % от общей площади этой части Баренцева моря (б))

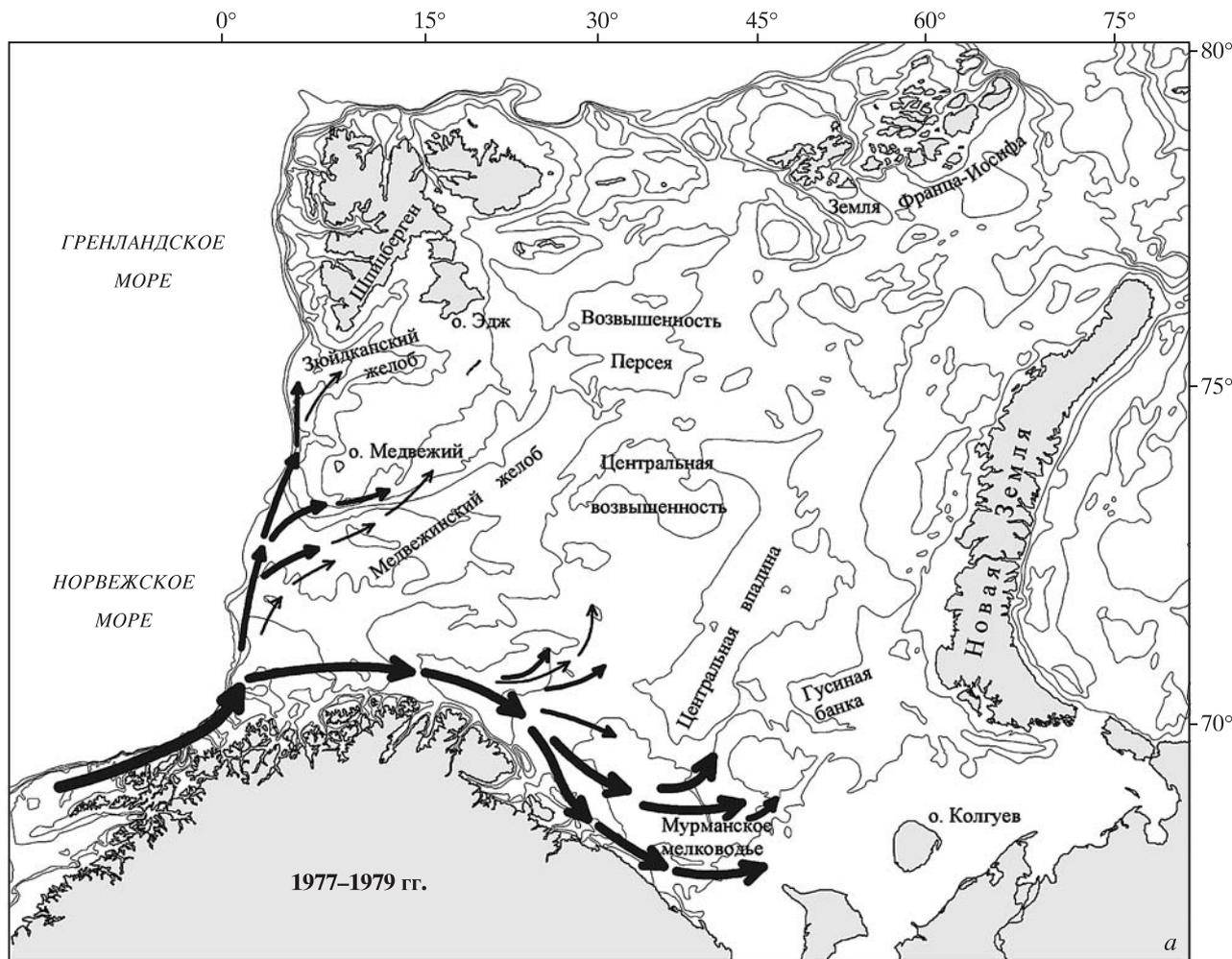


Рис. 4. Миграции промысловых скоплений трески в аномально холодные (а) и аномально теплые (б) годы в Баренцевом море

це XX века замерзли воды Кольского залива, что случается 1 раз в 30–35 лет. В период 2007–2010 гг. гидрологические показатели снова свидетельствуют о похолодании баренцевоморских вод (рис. 2). Таким образом, многолетний климатический тренд после 2006 г. реализуется как устойчивая нисходящая тенденция. В начале второго десятилетия XXI в. намечилось возвращение режима функционирования экосистемы Баренцева моря к условиям среднегогодового состояния климата. В дальнейшем не исключен переход к периоду похолодания.

В качестве критерия оценки теплового состояния вод Баренцева моря использована величина соотношения между аномалиями температуры воды ( $\Delta T$ ) в слое 0–200 м на разрезе “Кольский меридиан” для каждого года и среднеквадратичного отклонения температуры воды ( $\sigma$ ) по следующим градациям:

аномально холодный год	$-\Delta T^{\circ}\text{C} > 1,5\sigma$
холодный год	$0,5\sigma < -\Delta T^{\circ}\text{C} \leq 1,5\sigma$
нормальный год	$\pm \Delta T^{\circ}\text{C} \leq 0,5\sigma$
теплый год	$0,5\sigma < \Delta T^{\circ}\text{C} \leq 1,5\sigma$
аномально теплый год	$\Delta T^{\circ}\text{C} > 1,5\sigma$

Величина среднеквадратического отклонения температуры воды  $\sigma$  в слое 0–200 м на разрезе “Кольский меридиан”, рассчитанная по данным ММБИ за период 1951–2010 гг., составляет  $0,51^{\circ}\text{C}$ . На основе этого критерия составлен календарь аномалий теплового состояния вод Баренцева моря (рис. 3). Он позволяет выявлять качественные и количественные зависимости между изменениями климата и особенностями распределения основных групп организмов в Баренцевом море. В первую очередь это касается видов-индикаторов. Так, благодаря наличию статистики рыбного промысла за непрерывный многолетний период такие зависимости могут быть установлены для популяций промысловых видов.

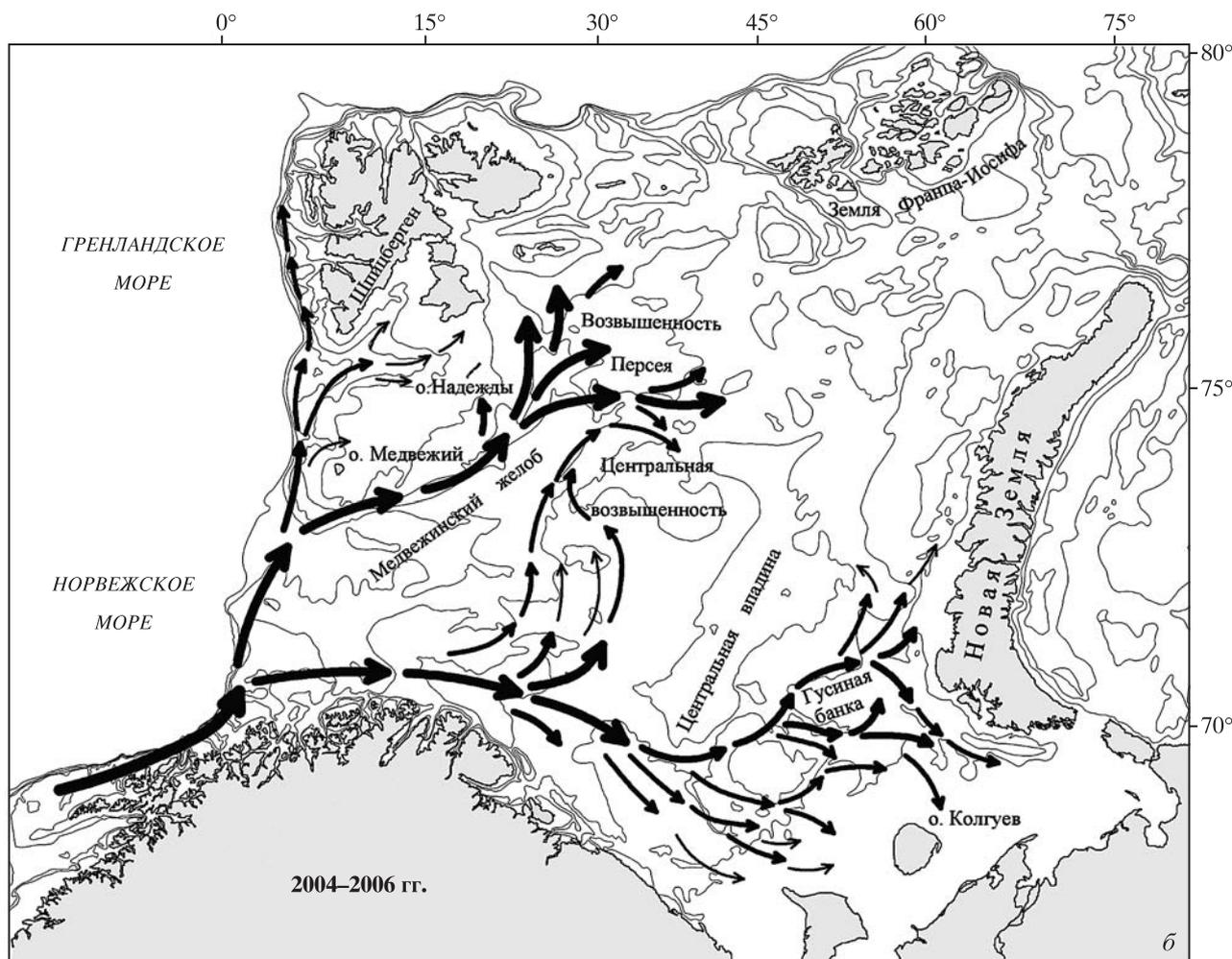


Рис. 4. (окончание)

#### *Атлантическая треска*

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 [41, 42] позволило установить закономерности миграций трески в зависимости от температуры воды. Так, в экстремально холодный период конца 1970-х гг. границы нагульного ареала трески на востоке не выходили далее Мурманского мелководья, а в северо-западной части моря скопления трески к окончанию нагульного периода едва достигали Зюйдкапского желоба и восточного склона Медвежинской банки (рис. 4а).

В начале 1990-х гг., с наступлением теплой фазы в цикличности климата, началось перераспределение основных миграционных потоков трески.

В аномально теплый период (2004–2006 гг.) пути миграций 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 о. Надежды, возвышенность Персея). Здесь 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.).

Анализ изменений запаса трески и площади акватории промысла был произведен в сопоставлении с хронологическим графиком аномалий температуры воды. В конце 1970-х – начале 1980-х гг. промысловый запас Баренцева моря сократился в 3 раза вследствие растущего выло-

## Камчатский краб

ва и сильной отрицательной аномалии температуры воды. В период теплой фазы начала 1990-х гг. промысловый ресурс восстановился до максимальных значений, чему способствовало и снижение промысловой нагрузки. Похолодание 1997–1998 гг. вновь привело к уменьшению промыслового запаса и сокращению площади акватории промысла трески. И, наконец, в период потепления начала 2000-х гг. промысловый запас стабилизировался, и ареал трески расширился до доступной для лова акватории.

Таким образом, миграция трески и изменение районов ее промысла отражают комплекс факторов, среди которых первичны изменения теплового состояния моря. Вместе с тем важную роль играет промысловое изъятие, а в современных условиях – также и жесткое квотирование промысла. Теплые аномалии способствуют ведению экологически устойчивого рыбного промысла.

Особое место среди промысловых ресурсов Баренцева моря занимает вид-вселенец – камчатский краб. Вид был интродуцирован в Баренцево море специалистами ММБИ в 1961–1966 гг. Длительное время численность популяции, оставшейся без внешней подпитки, была незначительной. Только в 1974 г. было подтверждено выживание краба в прибрежных условиях Кольского полуострова. До конца 1980-х гг. численность вида не превышала 100 тыс. экз. Рост популяции камчатского краба, отмеченный в конце 1990-х гг., достиг максимума (примерно 21 млн экз.) в 2003 г. Это произошло со сдвигом в 9–12 лет после теплых 1989–1990 гг. и совпало с периодом потепления в начале XXI века (рис. 5). Пелагические личинки краба, выжившие в благоприятных термических условиях 1989–1990 гг., затем развивались при отсутствии промышленного изъятия. К началу 2000-х гг. камчатский краб

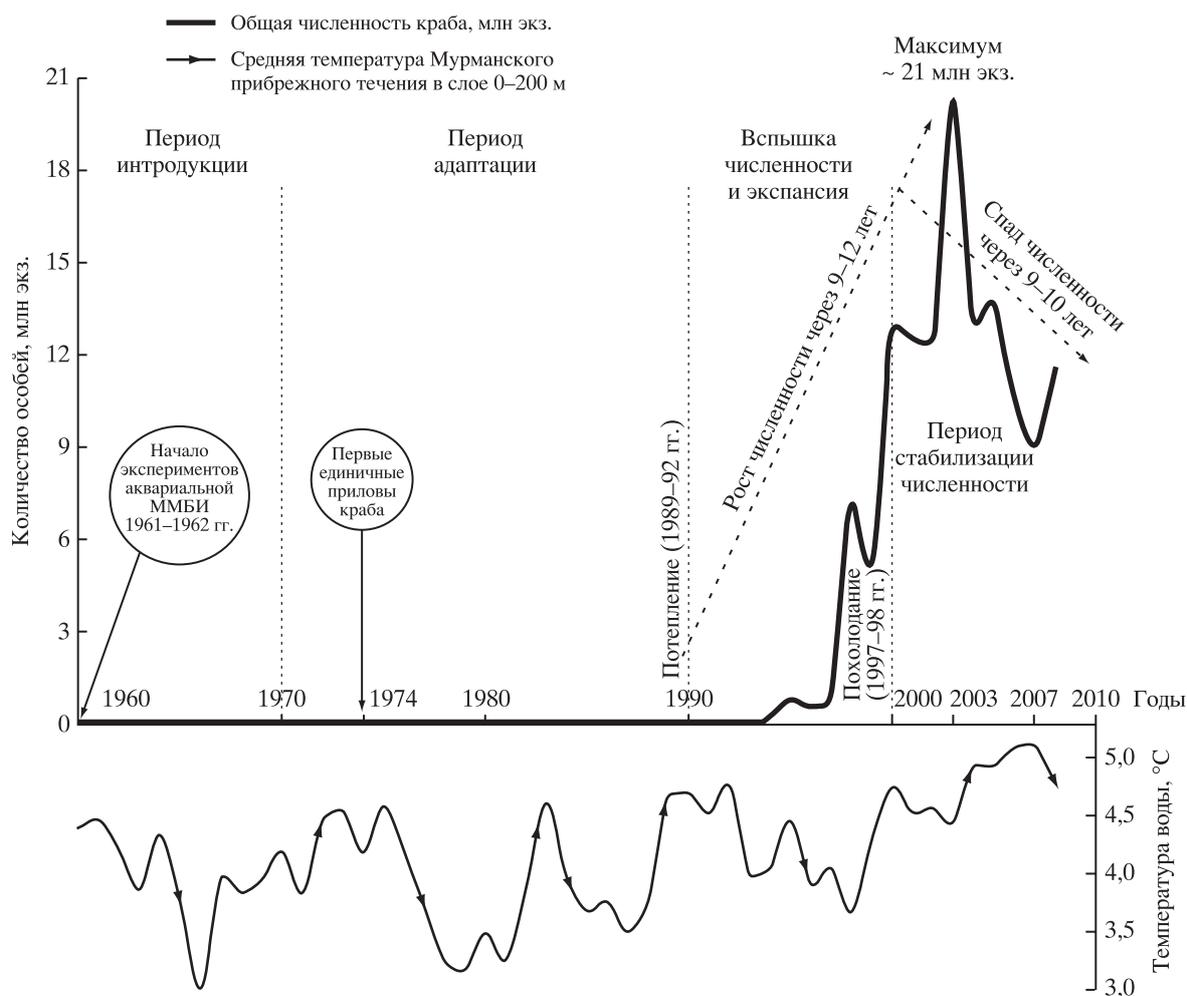


Рис. 5. Вспышка численности камчатского краба в Баренцевом море в связи с потеплением в начале XXI в. (по данным ММБИ и ПИНРО)

достиг половой зрелости и промыслового размера. Через 10 лет после холодных 1997–1998 гг. в результате, в основном, промысла отмечен спад численности краба (рис. 5).

При достижении такой высокой численности крупного хищника, каким является камчатский краб, происходило снижение биомассы аборигенных бентосных организмов. Они составляют основную кормовую базу краба. Наиболее явно влияние камчатского краба на бентос было выявлено в районах длительного существования вселенца, таких как Варангер-фьорд [43]. Этот факт дает основание предположить, что потепление моря стало одной из причин значительного роста популяции чужеродного вида в районах, где он смог ассимилироваться. Это позволило крабу значительно расширить свой ареал и существенно преобразовать прибрежные экосистемы [29].

### Планктон

Реакция зоопланктона на климатические изменения выражается в закономерной динамике биомассы отдельных таксономических групп Баренцева моря. Обусловлено это флуктуациями адвекции с запада теплых и соленых атлантических вод и сезонным пресным стоком в прибрежной зоне. Влияние климата на зоопланктон выражается в особенностях динамики биомассы отдельных таксономических групп. Так, наиболее чувствителен к воздействию атлантических вод вид *Calanus finmarchicus*, популяция которого формируется в водах Нордкапского течения [28].

Для *Calanus finmarchicus* (Crustacea, Copepoda, Calanoidea) не выявлено связи между средней численностью яиц и температурой воды. Это, по-видимому, объясняется неполным учетом яиц при использовании стандартного орудия лова (сети Джели). Напротив, численность личинок калянуса (науплиусы и копеподитные стадии) прямо связана с атлантической адвекцией. В теплые годы усиливается принос рачков из Норвежского моря и увеличивается вклад размножающихся представителей аборигенной популяции. Численность науплиусов и копеподитов *Oithona similis* (Crustacea, Copepoda, Cyclopoidea) тесно связана с температурой воды, что объясняется прежде всего повышением репродуктивного потенциала местных популяций в периоды потепления. Аналогичная закономерность свойственна пелагическим оболочникам родов *Fritillaria* и *Oicopoleura* (Larvacea).

Численность яиц, науплиусов и метанауплиусов эвфаузиевых ракообразных (Crustacea, Euphausiacea) никак не зависит от термического режима Баренцева моря, тогда как старших личи-

нок – калиптописов и фурцилий – напрямую связана с температурой воды. Различия объясняются тем, что эвфаузииды *Thysanoessa raschii* имеют местное происхождение, тогда как обилие другого вида – *T. inermis* в значительной степени зависит от приноса из Норвежского моря. Поэтому результаты анализа зависят от изменяющейся доли представителей разных видов в суммарной численности.

Таким образом, анализ численности массовых аборигенных видов зоопланктона Баренцева моря (например, *Oithona similis*) показал зависимость от колебаний температуры воды, которая обуславливает их размножение. Вместе с тем обилие видов-мигрантов (например, *Calanus finmarchicus*) определяется объемом адвекции атлантических вод из Норвежского моря. Полезность зоопланктонных сообществ в качестве индикатора климатических изменений ограничена из-за короткого жизненного цикла организмов и различий в их экологии на разных стадиях развития.

### Макрозообентос

В отличие от планктонных сообществ зообентос более консервативно реагирует на межгодовую климатическую изменчивость на арктическом шельфе [15, 18, 44, 45]. Это наиболее очевидно в серии повторяющихся съемок бентоса, выполненных в одном и том же районе. Стандартным полигоном мониторинга в Баренцевом море является разрез “Кольский меридиан”, на котором с 1921 г. проводятся регулярные исследования [15, 18, 44, 45]. Поиск вектора изменения общей биомассы донных организмов при флуктуации термического режима вод – один из наиболее значимых вопросов, решаемых в рамках проблемы климатически обусловленных колебаний биоресурсов моря. Полученные ранее результаты свидетельствуют о снижении биомассы бентоса в периоды похолодания [46]. О сходном векторе изменений биомассы говорят и более поздние исследования по бентосу, выполненные в юго-восточной части Баренцева моря [47]. Но в этой же работе указывается на то, что для центрального и северо-восточного районов моря имеет место противоположная тенденция повышения общей биомассы донных организмов после периодов похолодания. Следовательно, реакция донного населения экосистемы Баренцева моря более сложная и зависит еще и от региональных особенностей среды. С середины XX в. одним из самых важных факторов изменения биомассы бентоса является антропогенное воздействие в виде донного тралового промысла [4, 44]. Однако явление перепахивания тралом морского дна не снижает актуальность

изучения флуктуаций бентосных сообществ, обусловленных климатическим фактором.

В нашей работе предпринят поиск зависимости между вариациями термического режима моря, биомассой отдельных видов донных организмов и сообществ в целом на базе количественных данных, собранных стандартными методами за относительно короткий временной отрезок (с 1995 по 2001 гг.). На разрезе “Кольский меридиан” был выделен участок из 6 станций. Для него характерны однородность грунтов, состав фауны, доминирование полихет *Spiochaetopterus typicus*. Биомасса бентоса была усреднена для нормализации статистической погрешности [48].

Корреляция временных рядов биомассы всего сообщества, а также восьми крупных видов с серией аномалий среднегодовой температуры вод в слое 0–200 м позволила установить вектор изменения донных биогеоценозов. Так, общая биомасса бентоса имеет отрицательную достоверную связь с изменениями температуры вод, биомасса бореально-арктических и субтропическо-бореально-арктических видов – положительную, а арктических видов – отрицательную (табл. 1). Реакция биомассы отдельных видов зообентоса на климатические колебания происходит с задержкой по времени от 1 до 7 лет [45, 47]. Недостаток тепла воздействует на наиболее уязвимую молодежь бореально-арктических видов. Сдвиг определяется возрастом поколений. А возрастная структура обеспечивает основную долю биомассы в популяциях. При условии постоянного пополнения и неизменной скорости смертности запаздывание должно быть гораздо меньше максимальной продолжительности жизни. От выживания личинок зависят в дальнейшем такие количественные показатели популяций, как плотность поселения и биомасса. Корреляционный анализ позволил уточнить интервалы сдвига биомассы (табл. 1).

Установленные нами периоды запаздывания для моллюсков согласуются с величинами, рассчитанными для Печорского моря [47]. Интервал запаздывания биомассы иглокожих также соответствует

Таблица 1. Реакция биомассы бентоса и доминирующих видов на температурные изменения

Вид	Биогеографическая характеристика	Коэффициент корреляции	Запаздывание, годы
<i>Spiochaetopterus typicus</i>	b-a	0,896	8
<i>Ctenodiscus crispatus</i>	st-b-a	0,997	5
<i>Batharca glacialis</i>	a	-0,944	3
<i>Ophiura sarsi</i>	b-a	0,901	4
<i>Maldane sarsi</i>	st-b-a	0,994	8
<i>Aglaophamus malmgreni</i>	a	-0,991	4
Биомасса бентоса		-0,887	3

представлениям о продолжительности жизни этих беспозвоночных. Время сдвига в 8 лет для полихет *S. typicus* и *M. sarsi* требует дальнейшего уточнения при удлинении временных рядов. Таким образом, от циклического изменения вектора среднегодовых температур зависит количественная структура биомассы бентоса. При этом происходит запаздывание с периодом около 3 лет для сообществ в целом и от 3 до 8 лет для отдельных видов (рис. 6). Биомасса бореально-арктических и арктических видов реагирует на увеличение количества тепла противоположным образом [48].

Наиболее заметным следствием колебаний температурного режима вод является изменение состава фауны в сторону увеличения численности холодноводных или тепловодных видов и расширение их ареалов. Этот подход использовал К.Н. Несис (1960) для оценки реакции донных сообществ на изменение теплосодержания вод на разрезе “Кольский меридиан”. При анализе современной экологии бентоса учитывалось соотношение количества видов, обитающих на границе своего ареала, и зависимость организмов от структуры морских вод.

Поскольку все сборы на Кольском меридиане выполнены дночерпателем, а не тралом Сигсби, возникла проблема в сравнении полученных результатов и обнаруженных зависимостей с иссле-

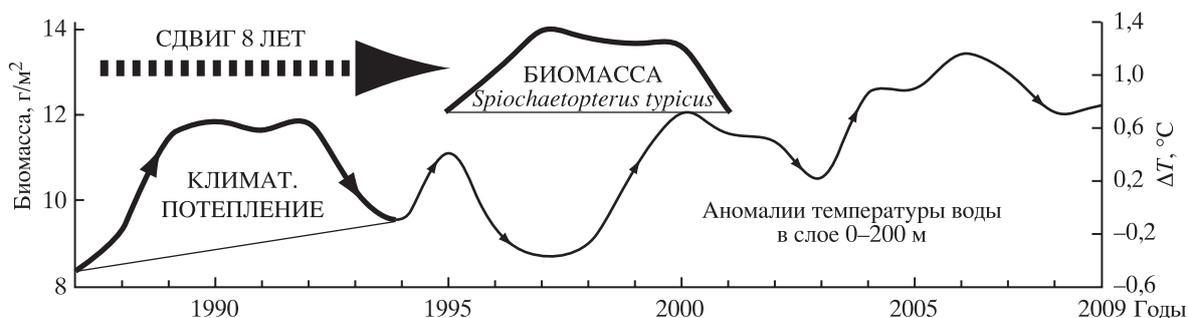


Рис. 6. Смещение по фазе биомассы бентоса относительно температуры на разрезе “Кольский меридиан”

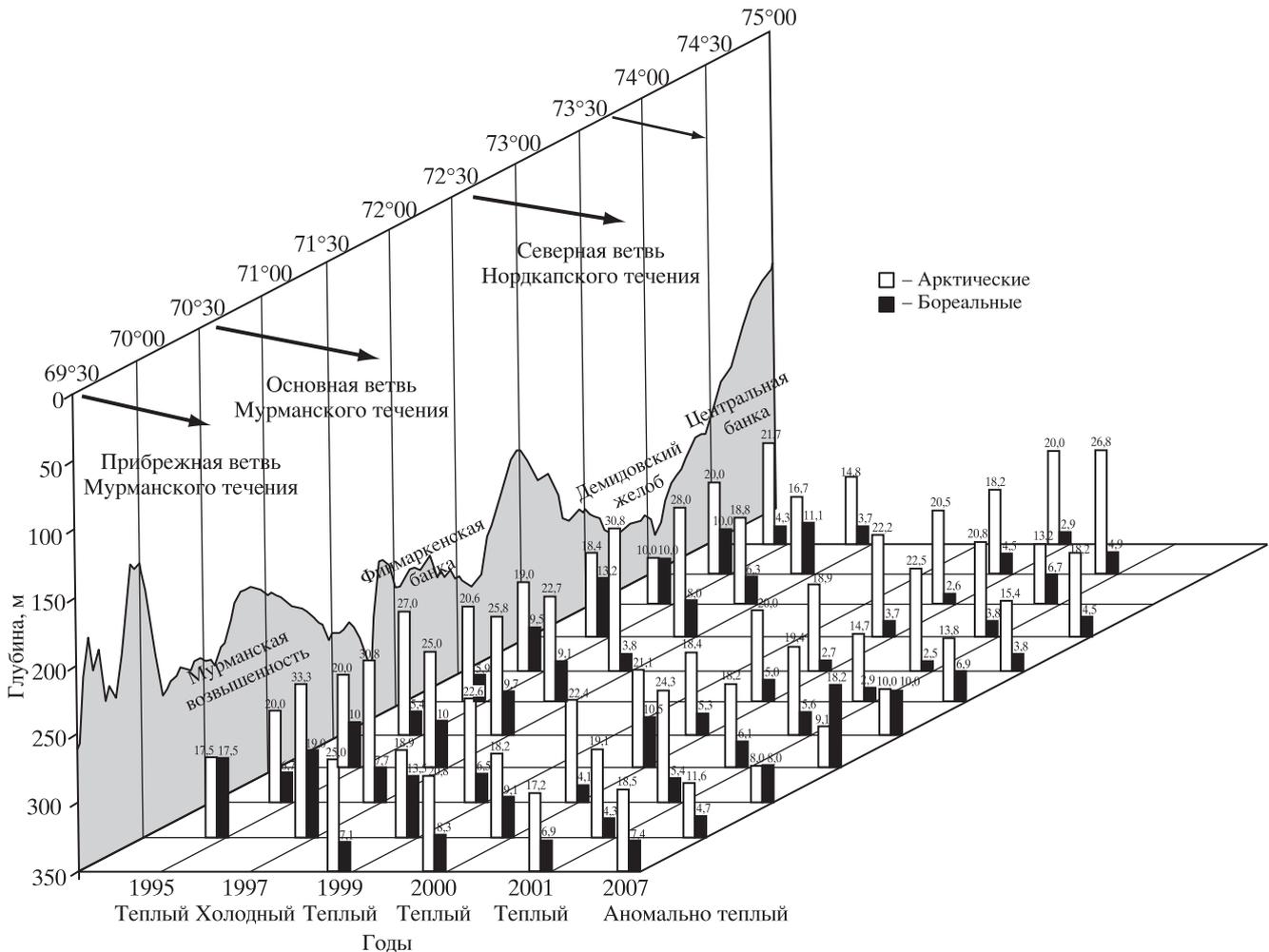


Рис. 7. Доля бореальных и арктических видов-индикаторов от общего количества видов полихет на станциях разреза по Кольскому меридиану в разные годы

дованиями прошлых лет [15]. В качестве универсальной модели выбрана таксономическая группа Polychaeta (многощетинковые черви), которая достаточно полно улавливается дночерпателем. В результате статус и тенденции в поселениях указанных полихет могут показать состояние и динамику донных сообществ в целом.

На Кольском разрезе за весь период наблюдений было изучено 190 видов многощетинковых червей. Среди них нет доминирующих и специфических форм донных биоценозов. Всего выделено 38 видов (20%), которые обитают на границе ареалов распространения и служат индикатором термического режима вод:

– бореальные (*Asychis biceps*, *Goniada norvegica*, *G. maculata*, *Orbinia norvegica*, *Paramphinome jeffreysii*, *Paraonella nordica*, *Eunice dubitata*, *E. pennata*, *E. norvegica*, *Hydroides norvegicus*, *Neoleanira tetragona*, *Eteone suecica*, *Exogone verrugera*, *Scolelepis korsuni*, *Sosane wireni*, *Streblosoma bairdi*, *S. in-*

*testinalis*, *Filograna implexa*, *Clymenura borealis*), 19 видов;

– арктические (*Aglaophamus malmgreni*, *Diplocirrus hirsutus*, *D. longosetosus*, *Euchone analis*, *Lysippe labiata*, *Marenzelleria wireni*, *Nephtys paradoxa*, *Lanassa nordenskioldi*, *Leaena abranchiata*, *Melina elisabethae*, *Ophelina cylindricaudata*, *Praxillura longissima*, *Pseudoscalibregma parvum*, *Sabellides borealis*, *Typosyllis fasciata*, *Axiothella catenata*, *Glyphanostomum pallescens*, *Micronephthys minuta*, *Clymenura polaris*), 19 видов.

На шельфе вдоль разреза “Кольский меридиан” среди общего количества полихет были вычислены доли бореальных и арктических видов. Начиная с 1989 г. периоду исследования (1995–2007 гг.) предшествовало несколько теплых лет (рис. 2, 3). В 1995 г. на морском дне в зоне Прибрежной ветви Мурманского течения выявлено самое высокое содержание бореальных видов (рис. 7). В стрессе Основной ветви также формировалась высокая

**Таблица 2.** Изменение количества бореальных и арктических видов полихет (в % от общего) на шельфе по Кольскому меридиану от 70° до 73° с.ш.

Год	Бореальный вид	Арктический вид
1995	9,7	20,4
1997	9,6	28,1
2000	5,8	20,2
2001	4,4	19,9
2007	8,0	12,3

концентрация бореальных видов. Рост количества арктических видов происходил севернее Основной ветви Мурманского и Северной ветви Нордкапского течений.

При похолодании вод Баренцева моря в 1997 г. (рис. 2, 3) содержание бореальных видов полихет сохранило структуру 1995 г. При этом значительно возросло количество арктических видов во всех струях теплого течения (рис. 7, табл. 2).

В теплом 2000-м году количество бореальных видов продолжало снижаться (рис. 7) по сравнению с 1997 г. Особенно сильно доля этих видов снизилась в зоне Прибрежной ветви Мурманского течения. Только в районе Основной ветви значение бореальных видов сохранилось на уровне 1997 г., где и было максимальным для всего разреза. В струях теплого течения снизилась доля арктических полихет (рис. 7).

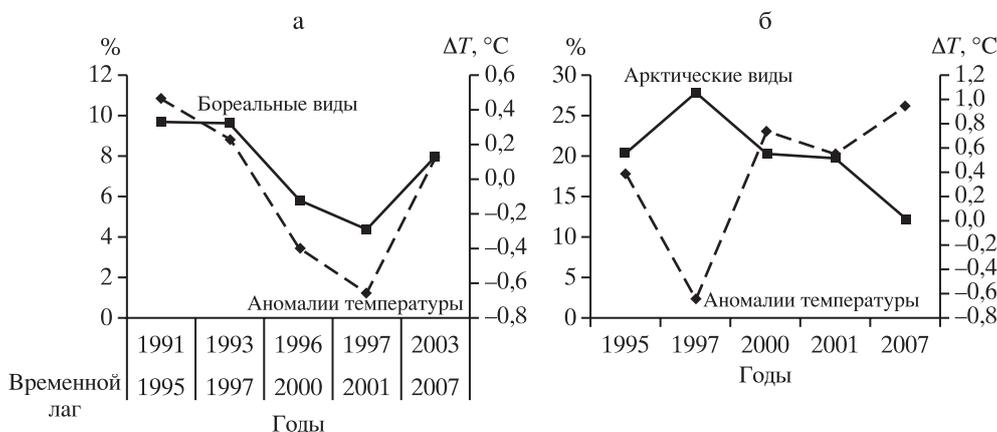
Поскольку относительно теплый 2001-й год был холоднее 2000-го (рис. 2, 3), в этот период заметно уменьшилось количество бореальных видов в Прибрежной и Основной ветвях Мурманского течения (рис. 7, табл. 2). В Прибрежной ветви исчез бореальный вид *Asychis biceps*, который присутствовал там во все годы исследований.

После периода аномально теплых лет, начиная с 2007 г. доля бореальных видов резко возросла, особенно в Основной ветви Мурманского течения, где и превысила долю арктических, достигнув 8,2% (рис. 7, 8а). В этом районе количество арктических видов сократилось до 9,1% (рис. 7, 8б). В этот период среди бореальных видов появились новые для Кольского разреза элементы фауны *Clymenura borealis* и *Filograna implexa*. А арктический вид *Aglaophamus malmgreni* тогда не отмечался в районах Прибрежной и Основной ветвей Мурманского течения. Холодноводный *Nephtys paradoxa* отступил на север, к 73° с.ш. Средняя доля арктических видов сократилась почти на 8% (с 20 до 12%) (табл. 2).

Закономерно, что доля бореальных и арктических видов полихет на шельфе по Кольскому меридиану изменяется из года в год неравномерно. Структура и количество тепловодных и холодноводных видов зависят от колебаний температурного режима в разных струях Мурманского и Нордкапского течений (рис. 2, 3, 7, 8). Так, в начале исследуемого периода основной объем тепла поступал в Прибрежной ветви Мурманского течения. В первые годы XXI в., до 2007 г., мощность Прибрежной ветви ослабла и наиболее теплой стала Основная ветвь Мурманского течения.

Сравнение с учетом временного сдвига от 1 до 5 лет относительного количества бореальных и арктических видов полихет и температурного режима на шельфе показало, что реакция видов разных биогеографических групп имеет противоположный вектор и отличается временем задержки (табл. 3). Период задержки для бореальных видов установлен в 4 года, а для арктических – в 1 год (табл. 3, рис. 8).

Полученные результаты по динамике состава и биогеографических границ полихет на шельфе позволяют сделать заключение о различной скорости



**Рис. 8.** Количество бореальных (а) и арктических (б) видов полихет на южном (540 км) участке Кольского разреза и аномалии температуры воды Мурманского течения

**Таблица 3.** Коэффициенты корреляции доли бореальных и арктических видов полихет с аномалиями температуры воды Мурманского течения (слой 150–200 м)

Виды	Аномалии температуры воды					
	без сдвига	со сдвигом на 1 год	со сдвигом на 2 года	со сдвигом на 3 года	со сдвигом на 4 года	со сдвигом на 5 лет
Бореальные	–0,51	–0,63	0,53	0,68	<b>0,98</b>	<b>0,84</b>
Арктические	<b>–0,91</b>	<b>–0,84</b>	–0,26	–0,48	0,11	0,36

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты с высоким значением.

реакции бореальных и арктических видов на изменение температурного режима океанических (соленость около 35‰) вод. Поскольку похолодание отражается на выживании личинок и молоди бореальных видов, то запаздывание реакции бентоса определяется сроками отмирания взрослых форм. При потеплениях пелагические личинки разносятся течениями и выживают севернее границ своих ареалов. Арктические же виды, не имеющие планктонных личинок, при изменениях термического режима вод могут расселяться только путем активных миграций [15].

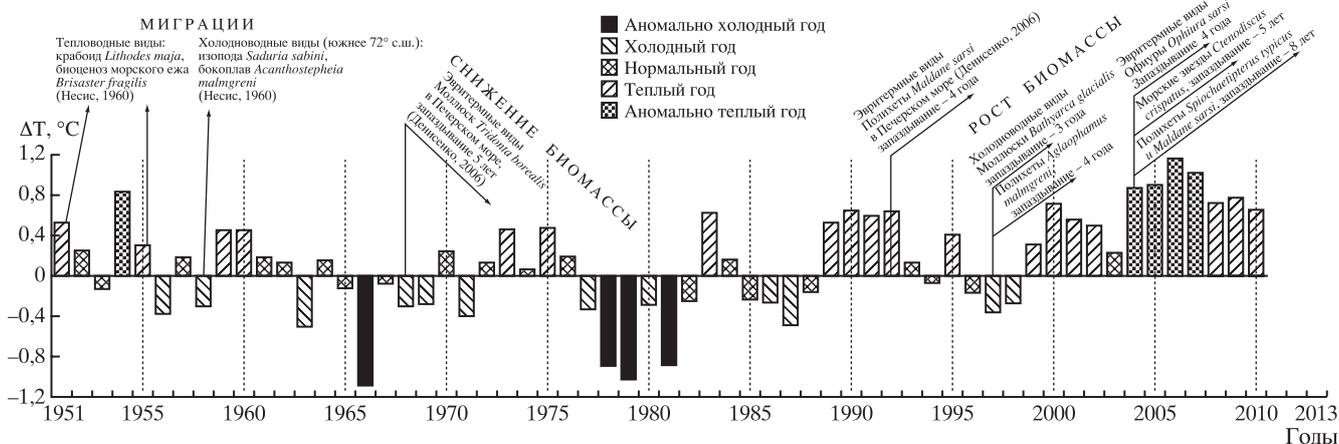
Современные исследования динамики зоогеографического состава и биомассы бентоса на Кольском разрезе не только визуализировали сходные тенденции изменения этих двух характеристик сообществ (рис. 9), но и подтвердили закономерности, обнаруженные ранее [15, 44, 47]. Выводы свидетельствуют о существенной роли климатических изменений в развитии донных сообществ. С другой стороны, гидробиологические аргументы указывают на правомерность использования данных по бентосу с Кольского разреза в качестве индикатора изменения климата на шельфе Баренцева моря, даже при наличии угнетающего воздействия тралового промысла.

В результате проведенных исследований не было обнаружено существенных изменений структуры донных сообществ и их биомассы. Внутривековые климатические флуктуации являются естественным процессом в развитии Баренцева моря. Экосистема приспособлена к подобным колебаниям, которые вызывают периодические закономерные перестройки видового состава и трофических связей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полярные области Земли в геологическом прошлом и в современную эпоху подвержены естественным циклическим изменениям климата и ледяного покрова, что ставит под сомнение антропогенную природу последнего глобального потепления. Поэтому не следует преувеличивать роль антропогенной составляющей вариаций климата, нарушающей его естественную цикличность.

Потепление Баренцева моря, отмеченное в первом десятилетии XXI в., по интенсивности и продолжительности сопоставимо с потеплением 1920–1930-х гг. В самые последние годы (2007–2010 гг.) этот процесс сменился противоположным, и океанологические показатели приблизились к норме.



**Рис. 9.** Запаздывание реакции биомассы и миграций видов-индикаторов при смене вектора термических циклов на разрезе "Кольский меридиан" (33°30' в.д.)

Есть основания полагать, что дальнейшие изменения климатической системы будут носить циклический характер с периодом, близким к 30 годам. Маловероятно, что отмеченное в последние годы сокращение ледяного покрова в российской части Северного Ледовитого океана окажется необратимым, и отпадет надобность в развитии ледокольного флота.

При долгосрочном прогнозировании и ретроспективном анализе климата следует использовать индикаторные гидробиологические показатели: видовой состав, плотность поселений, биомассу, миграции морских организмов. Колебания климата Баренцева моря существенно сказываются на численности и ареалах массовых промысловых видов. Так, повышение температуры воды способствует миграции атлантической трески из Норвежского моря в центральные и юго-восточные районы Баренцева моря, что сопровождается расширением районов промысла. В периоды похолодания промысловые скопления трески локализуются на юге и юго-западе моря. Быстрый рост численности вида-вселенца – камчатского краба – в начале 2000-х гг. может быть интерпретирован как реакция на потепление и усиление адвекции атлантических вод.

Реакция сообществ зоопланктона на потепление атлантической водной массы хорошо выражена в пелагиали юго-западной части Баренцева моря. В прибрежных водах Кольского полуострова и на юго-востоке Баренцева моря преобладает влияние локальных метеорологических условий и речного стока.

Специфика зообентоса Баренцева моря состоит в том, что донная фауна откликается главным образом на крупные и продолжительные климатические аномалии. В соответствии с климатическими циклами тепловодная фауна не только видоизменяется, но и сокращается обилие организмов, количество видов и площади их ареалов. Со сдвигом 4–8 лет изменяется биомасса доминирующих видов. В периоды с максимально теплым и максимально холодным состоянием придонного слоя моря отдельные виды могут перемещаться на многие сотни километров. При потеплении вектор миграции донной биоты направлен на северо-восток, в фазы похолодания – в противоположном направлении. При увеличении среднегодовых температур биомасса и численность бореально-арктических видов возрастают, а у арктических видов снижаются.

Важным зоогеографическим фактором является подводная топография, а также экспозиция склонов рельефа дна. В гляциальных желобах – каналах распространения теплых атлантических вод, помимо эврибионтных термопластичных видов, способны

существовать формы умеренных вод (бореальные). Напротив, на вершинах банок и возвышенностей с глубинами 50–150 м широко представлены арктические формы бентоса. Пересеченность рельефа гляциального шельфа, где перепады глубин могут составлять 100–300 м, позволяет при похолодании сохраняться бореальной фауне, мигрирующей на дно глубоких желобов, куда проникает тепло Северо-Атлантического течения.

В течение последних пятидесяти лет состояние воспроизводства, численности пищевых цепей морских млекопитающих, колониальных птиц, промысловых рыб и беспозвоночных примерно в равной степени зависит от регионального климата и масштабов промышленного изъятия биоресурсов. Заметную роль в биоразнообразии играют виды из дальневосточных морей (горбуша, камчатский краб), внедренные в ходе интродукции или с балластными водами, а также естественные вселенцы. В целом морские экосистемы хорошо адаптированы к многолетней изменчивости условий среды, что доказано исследованиями ММБИ на протяжении 75 лет.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матишов Г.Г. Об океаническом перигляциале // Океанология. 1982. Т. 22. Вып. 2. С. 246–253.
2. Матишов Г.Г. Дно океана в ледниковый период. Л.: Наука, 1984. 176 с.
3. Матишов Г.Г. Мировой океан и оледенение Земли. М.: Мысль, 1987. 270 с.
4. Матишов Г.Г., Павлова Л.Г. Общая экология и палеогеография полярных океанов. Л.: Наука, 1990. 224 с.
5. Matishov G.G., Tarasov G.A., Pavlova L.G., Alekseev V.V. Quaternary geology of the shelf areas surrounding Franz Joseph Land // Mar. Geol. 1994. Vol. 119. P. 301–304.
6. Матишов Г.Г., Шаранова А.Ю., Тарасов Г.А. и др. Послеледниковая растительность и климат центральной части Кольского полуострова // Доклады академии наук. 2005. Т. 402. № 4. С. 534–537.
7. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М., Шереметова Л.М. Экстремальные природные явления в XVIII в. и в первой половине XIX в. // Труды ГГО. 1986. Вып. 503. С. 50–62.
8. Захаров В.Г. Колебания ледников Антарктиды. М.: Аккоринформиздат, 1994. 128 с.
9. Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря / Под ред. Г.Г. Матишова. Апатиты: Изд-во ММБИ АН СССР, 1985. 220 с.
10. Эволюция экосистем и биогеография морей Европейской Арктики. СПб.: Наука, 1994. 222 с.
11. Matishov G.G., Denisov V.V., Dzhenyuk S.L. Contemporary state and factors of stability of the Barents Sea Large Marine Ecosystem // Large Marine Ecosystems of World: Trends in Exploration, Protection and Research. Elsevier, 2003. P. 41–74.

12. *Matishov G.G., Denisov V.V., Timofeev S.F., Dzhenyuk S.L.* Marine ecosystems of the Barents Sea influenced by the natural and anthropogenic factors: current conditions and problems // Lange M.A. et al. (eds.). Global changes and the Barents Sea region. Munster, 1999. P. 105–134.
13. *Броцкая В.А., Зенкевич Л.А.* Количественный учет донной фауны Баренцева моря // Труды ВНИРО. Т. 4. 1939. С. 55–120.
14. *Гурьянова Е.Ф.* Боклопавы морей СССР и сопредельных вод. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1951. 1029 с.
15. *Несис К.Н.* Изменения донной фауны Баренцева моря под влиянием колебаний гидрологического режима // Советские рыбохозяйственные исследования в морях Европейского Севера. М.: Рыбное хозяйство, 1960. С. 129–138.
16. *Филатова З.А.* Количественный учет донной фауны юго-западной части Баренцева моря // Тр. ПИНРО. 1938. Вып. 2. С. 3–59.
17. *Гурьянова Е.Ф.* К фауне Amphipoda Баренцева моря // Труды Института по изучению Севера. Вып. 37. 1928. С. 39–54.
18. *Дерюгин К.М.* Сравнительная оценка результатов гидрологических разрезов по Кольскому меридиану // Работы Мурманской биологической станции. Т. 1. 1925. С. 131–137.
19. *Дерюгин К.М.* Гидрология и биология // Исслед. морей СССР. 1930. Вып. 11. С. 37–45.
20. *Шорыгин А.А.* Иглокожие Баренцева моря // Труды Морского научного института. Т. 3. Вып. 4. 1928. С. 57–63.
21. *Матишов Г.Г., Зуев А.Н., Голубев В.А., Левитус С., Смоляр И.* Мегабаза данных по океанографии и биологии морей Западной Арктики // Доклады академии наук. 2005. Т. 401. № 2. С. 252–255.
22. *Matishov G., Zuev A., Golubev V. et al.* Climatic atlas of the Barents sea 1998: temperature, salinity, oxygen / Murmansk Marine Biological Institute (Russia); National Oceanographic Data Center Ocean Climate Laboratory (USA). Washington, 1998. 122 p.
23. *Matishov G., Zuyev A., Golubev V. et al.* Climatic Atlas of the Arctic Seas 2004: Part I. Database of the Barents, Kara, Laptev and White Seas – Oceanography and Marine Biology. World Data Center for Oceanography, Silver Spring, 2004. International Ocean and Information Series. Vol. 9. NOAA. Atlas NESDIS 58.
24. *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. № 3. P. 293–312.
25. Жизнь и условия ее существования в бентали Баренцева моря / Под ред. Г.Г. Матишова. Апатиты: ММБИ АН СССР, 1986. 222 с.
26. *Dahle S., Anisimova N., Palerud R., Renaud P.E., Pearson T., Matishov G.G.* Macrobenthic fauna of the Franz Josef Land archipelago // *Polar Biology*. 2009. Vol. 32. P. 169–180.
27. *Matishov G., Makarevich P., Timofeev S. et al.* Biological Atlas of the Arctic Seas 2000: Plankton of the Barents and Kara Seas / National Oceanographic Data Center/ NOAA. Silver Spring, MD, USA, 2000. 356 p.
28. *Тимофеев С.Ф.* Влияние климатических факторов на изменчивость биомассы зоопланктона в различных частях Баренцева моря // Вековые изменения морских экосистем Арктики: климат, перигляциал, биопродуктивность. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. С. 33–49.
29. 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.
30. *O'Dwyer J., Kasajima Y., Nøst O.A.* North Atlantic Water in the Barents Sea opening // *Polar Research*. 2001. Vol. 20. № 2. P. 209–216.
31. *Blindheim J.* Cascading of Barents Sea bottom water into the Norwegian Sea // *Rapports et Process-Verbaux des Reunions. Conseil International Pour L'Exploration de la Mer* 188. 1989. P. 49–58.
32. *Ingvaldsen R., Loeng H., Asplin L.* Variability in the Atlantic inflow to the Barents Sea based on a one-year time series from moored current meters // *Continental Shelf Research*. 2002. Vol. 22. P. 505–519.
33. *Матишов Г.Г., Волков В.А., Денисов В.В.* О структуре циркуляции теплых атлантических вод в северной части Баренцева моря // Доклады академии наук. 1998. Т. 362. № 4. С. 553–556.
34. *Knipowitsch N.* Hydrologische Untersuchungen im Europäischen Eismeer // *Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie*. 1905. Vol. 33. P. 241–260.
35. *Карсаков А.Л.* Океанографические исследования на разрезе “Кольский меридиан” в Баренцевом море за период 1900–2008 гг. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2009. 139 с.
36. *Матишов Г.Г., Голубев В.А., Жичкин А.П.* Температурные аномалии вод Баренцева моря в летний период 2001–2005 гг. // Доклады академии наук. 2007. Т. 412. № 1. С. 112–114.
37. *Belkin I.M., Levitus S., Antonov J.I., Malmberg S.-A.* “Great Salinity Anomalies” in the North Atlantic // *Prog. Oceanogr.* 1998. Vol. 41. № 1. P. 1–68.
38. *Зубов Н.Н.* Льды Арктики. М.: Изд-во Главсевморпути, 1945. 360 с.
39. *Максимов И.В.* Вековые колебания ледовитости Северной части Атлантического океана // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. 1954. Т. 18. С. 3–9.
40. *Матишов Г.Г., Берестовский Е.Г., Матишов Д.Г. и др.* Биоокеанографические признаки похолодания в Западной Арктике // Доклады академии наук. 1999. Т. 368. № 2. С. 254–258.
41. *Жичкин А.П.* Атлас российского промысла трески в Баренцевом море (1977–2006 гг.). Мурманск: Радица, 2009. 212 с.
42. *Матишов Г.Г., Жичкин А.П.* Опыт создания базы данных по географии рыболовства как интегрального показателя пространственно-временной изменчивости состояния больших морских экосистем // Вестник Южного научного центра РАН. 2008. Т. 4. № 4. С. 31–37.
43. *Anisimova N.A., Joergensen L.L., Lyubin P.A., Manushin I.E.* Mapping and monitoring of benthos in the Barents

- Sea and Svalbard waters: Results from the joint Russian-Norwegian benthic programme 2006–2008 // IMR/PINRO Joint Report Series 1–2010. 114 p.
44. *Денисенко С.Г.* Макрозообентос Баренцева моря в условиях меняющегося климата и антропогенного воздействия: Автореф. дисс... д-ра биол. наук: 03.00.18. СПб., 2008. 46 с.
45. *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.
46. *Бочков Ю.А., Кудло Б.П.* Многолетние изменения температуры воды Баренцева моря и их влияние на общую биомассу бентоса // Состав, распределение и экология донной фауны Баренцева моря: Тез. докл. Мурман. обл. науч. конф. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1973. С. 3–7.
47. *Денисенко С.Г.* Многолетние изменения зообентоса в Печорском море // *Изв. РГО*. 2006. Т. 138. Вып. 2. С. 37–48.
48. *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) // *Доклады академии наук*. 2007. Т. 416. № 1. С. 1–3.

## HYDROBIOLOGICAL INDICATORS OF CYCLIC CLIMATE CHANGES IN THE WESTERN ARCTIC DURING XX–XXI CENTURIES

**Academician of RAS G.G. Matishov, D.V. Moiseev, O.S. Lyubina, A.P. Zhichkin, S.L. Dzhenyuk, P.R. Makarevich, E.A. Frolova**

Possibility of marine organisms use as indicator of cyclic climate changes in the Western Arctic is discussed in article. On the base of systems analysis of MMBI oceanographic and hydrobiological databases with literature oceanological situation on XX and XXI centuries frontier is evaluated. Dependencies between western arctic seas thermic state and distribution features of living there on different ecosystems levels organisms are detected. It is shown, that in case of hydrometeorological information absence or loss one can estimate climate dynamics using biological factors like abundance, species composition, biomass and migrations of marine organisms.

**Key words:** climate, cyclicity, anomalies, temperature, ice, species-indicators, atlantic cod, benthos, Red King crab, polychaete.

## REFERENCES

1. Matishov G.G. 1982. [About oceanic periglacial]. *Okeanologiya*. 22(2): 246–253. (In Russian).
2. Matishov G.G. 1984. *Dno okeana v lednikovyy period*. [The Ocean floor during the Ice Age]. Leningrad, Nauka: 176 p. (In Russian).
3. Matishov G.G. 1987. *Mirovoy okean i oledenenie Zemli*. [World ocean and the glaciation of the Earth]. Moscow, Mysl': 270 p. (In Russian).
4. Matishov G.G., Pavlova L.G. *Obshchaya ekologiya i paleogeografiya polyarnykh okeanov*. [General ecology and paleogeography of the polar oceans]. Leningrad, Nauka: 224 p. (In Russian).
5. Matishov G.G., Tarasov G.A., Pavlova L.G., & Alekseev V.V. 1994. Quaternary geology of the shelf areas surrounding Franz Joseph Land. *Mar. Geol.* (119): 301–304.
6. Matishov G.G., Sharapova A.Yu., Tarasov G.A. 2005. [Postglacial vegetation and climate of the central part of the Kola Peninsula]. *Doklady akademii nauk*. 402(4): 534–537. (In Russian).
7. Borisenkov E.P., Pasetkiy V.M., Sheremetova L.M. 1986. [Extreme weather events in the XVIII century and in the first half of the XIX century]. *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii*. 503: 50–62. (In Russian).
8. Zakharov V.G. 1994. *Kolebaniya lednikov Antarktidi*. [Fluctuations of the Arctic glaciers]. Moscow, Akkorinformizdat: 128 p. (In Russian).
9. Matishov G.G. 1985. *Zhizn' i usloviya ee sushchestvovaniya v pelagiali Barentseva morya*. [Life and conditions of its existence in the pelagic zone of the Barents Sea]. Apatity, Murmansk Marine Biological Institute of the Academy of Sciences of the USSR Publishers: 220 p. (In Russian).
10. Matishov G.G., Timofeev S.F., Drobysheva S.S., Ryzhov V.M. 1994. *Evolutsiya ekosistem i biogeografiya morey Evropeyskoy Arktiki*. [The evolution of ecosystems and the European Arctic seas biogeography]. St. Peterburg, Nauka: 222 p. (In Russian).
11. Matishov G.G., Denisov V.V., Dzhenyuk S.L. 2003. Contemporary state and factors of stability of the Barents Sea Large Marine Ecosystem. *Large Marine Ecosystems of World: Trends in Exploration, Protection and Research*. Elsevier: 41–74.
12. Matishov G.G., Denisov V.V., Timofeev S.F., Dzhenyuk S.L. 1999. Marine ecosystems of the Barents Sea influenced by the natural and anthropogenic factors: current conditions and problems. Lange M.A. et al. (Eds.). *Global changes and the Barents Sea region*. Munster: 105–134.
13. Brotskaya V.A., Zenkevich L.A. 1939. [Quantitative accounting of the benthic fauna of the Barents Sea]. *Trudy VNIRO*. 4: 55–120. (In Russian).
14. Gur'yanova E.F. 1951. *Bokoplavy morey SSSR i sopredel'nykh vod*. [Amphipods of the USSR seas and adjacent waters]. Moscow; St. Petersburg, Academy of Sciences of the USSR Publishers: 1029 p. (In Russian).
15. Nesis K.N. 1960. [Changes in the benthic fauna of the Barents Sea under the fluctuations of the hydrological regime]. In: *Sovetskie rybokhozyaystvennye issledovaniya v moryakh Evropeyskogo Severa*. Moscow, Rybnoe khozyaystvo: 129–138. (In Russian).
16. Filatova Z.A. 1938. [Quantitative accounting of the benthic fauna of the south-western part of the Barents Sea]. *Trudy PINRO*. 2: 3–59. (In Russian).
17. Gur'yanova E.F. 1928. [On the fauna of the Barents Sea Amphipoda]. *Trudy Instituta po izucheniyu Severa*. 37: 39–54. (In Russian).
18. Deryugin K.M. 1925. [Comparative evaluation of hydrological sections of the Kola meridian]. *Raboty Murmanskoy biologicheskoy stantsii*. 1: 131–137. (In Russian).
19. Deryugin K.M. 1930. [Hydrology and biology]. *Issledovaniya morey SSSR*. 11: 37–45. (In Russian).
20. Shorygin A.A. 1928. [Echinoderms of the Barents Sea]. *Trudy Morskogo nauchnogo instituta*. 3(4): 57–63. (In Russian).
21. Matishov G.G., Zuev A.N., Golubev V.A., Levitus S., Smolyar I. 2005. [Mega database on oceanography and biology of the Western Arctic seas]. *Doklady akademii nauk*. 401(2): 252–255. (In Russian).

22. Matishov G., Zhev A., Golubev V. et al. 1998. *Climatic atlas of the Barents sea 1998: temperature, salinity, oxygen*. Murmansk Marine Biological Institute (Russia); National Oceanographic Data Center Ocean Climate Laboratory (USA). Washington: 122 p.
23. Matishov G., Zuyev A., Golubev V. et al. 2004. Climatic Atlas of the Arctic Seas 2004: Part I. Database of the Barents, Kara, Laptev and White Seas – Oceanography and Marine Biology. World Data Center for Oceanography, Silver Spring. NOAA. Atlas NESDIS 58. *International Ocean and Information Series*. (9).
24. Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V. 2009. Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along Glacial Troughs. *Oceanologia*. 51(3): 293–312.
25. Matishov G.G. 1986. *Zhizn' i usloviya ee sushchestvovaniya v bentali Barentseva moray*. [Life and conditions of its existence in the Barents Sea benthic]. Apatity, Murmansk Marine Biological Institute of the Academy of Sciences of the USSR Publishers: 222 p. (In Russian).
26. Dahle S., Anisimova N., Palerud R., Renaud P.E., Pearson T., Matishov G.G. 2009. Macrobenthic fauna of the Franz Josef Land archipelago. *Polar Biology*. (32): 169–180.
27. Matishov G., Makarevich P., Timofeev S. et al. 2000. Biological Atlas of the Arctic Seas 2000: Plankton of the Barents and Kara Seas. National Oceanographic Data Center/NOAA. Silver Spring, MD, USA: 356 p.
28. Timofeev S.F. 2001. [The influence of climatic factors on the variability of zooplankton biomass in different parts of the Barents Sea]. In: *Vekovye izmeneniya morskikh ekosistem Arktiki: klimat, periglyatsial, bioproduktivnost'*. [Secular changes arctic marine ecosystems: climate, periglacial, biological productivity]. Apatity, Kola Scientific Centre Publishers: 33–49. (In Russian).
29. Matishov G.G. 2008. *Biologiya i fiziologiya kamchatskogo kraba pribrezh'ya Barentseva moray*. [Biology and physiology of the red king crab of the Barents Sea coasts]. Apatity, Kola Scientific Centre Publishers: 170 p. (In Russian).
30. O'Dwyer J., Kasajima Y., Nost O.A. 2001. North Atlantic Water in the Barents Sea opening. *Polar Research*. 20(2): 209–216.
31. Blindheim J. 1989. Cascading of Barents Sea bottom water into the Norwegian Sea. *Rapports et Process-Verbaux des Reunions. Conseil International Pour L'Exploration de la Mer*. (188): 49–58.
32. Ingvaldsen R., Loeng H., Asplin L. 2002. Variability in the Atlantic inflow to the Barents Sea based on a one-year time series from moored current meters. *Continental Shelf Research*. (22): 505–519.
33. Matishov G.G., Volkov V.A., Denisov V.V. 1998. [Modern ideas about the structure of the circulation of warm Atlantic water in the northern part of the Barents Sea]. *Doklady akademii nauk*. 362(4): 553–556. (In Russian).
34. Knipowitsch N. 1905. Hydrologische Untersuchungen im Europaischen Eismeer. *Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie*. (33): 241–260.
35. Karsakov A.L. 2009. *Okeanographicheskie issledivaniya na razreze "Kolsky meridian" v Barentsevom more za period 1900–2008 gg*. [Oceanographic Investigations Along the "Kola Meridian" Section in the Barents Sea in 1900–2008]. Murmansk, PINRO: 139 p. (In Russian).
36. Matishov G.G., Golubev V.A., Zhichkin A.P. 2007. [Temperature anomalies in the Barents Sea during summer periods of 2001–2005]. *Doklady akademii nauk*. 412(1): 112–114. (In Russian).
37. Belkin I.M., Levitus S., Antonov J.I., Malmberg S.-A. 1998. "Great Salinity Anomalies" in the North Atlantic. *Prog. Oceanogr*. 41(1): 1–68.
38. Zubov N.N. 1945. *L'dy Arktiki*. [Arctic Ice]. Moscow, Glavsevmorput' Publishers: 360 p. (In Russian).
39. Maksimov I.V. 1954. Vekovye kolebaniia ledovitosti severnoi chasti Atlanticheskogo okeana. [Age-old sea ice fluctuations in the Northern Atlantic]. *Trudy instituta okeanologii AN SSSR*. 18: 3–9. (In Russian).
40. Matishov G.G., Berestovsky E.G., Matishov D.G. et al. 1999. [Biooceanographical indications of the cooling in the West Arctic]. *Doklady akademii nauk*. 368(2): 254–258. (In Russian).
41. Zhichkin A.P. 2009. *Atlas rossiyskogo promysla treski v Barentsevom more (1977–2006 gg)*. [Atlas of Russian cod fishing in the Barents Sea (1977–2006)]. Murmansk, Raditsa Publishers: 212 p. (In Russian).

42. Matishov G.G., Zhichkin A.P. 2008. [Experience of creation a database on the geography of fisheries as an integral indicator of the spatial and temporal variability of the state of large marine ecosystems]. *Vestnik Yuzhnogo Nauchnogo Tsentra*. 4(4): 31–37. (In Russian).
43. Anisimova N.A., Joergensen L.L., Lyubin P.A., Manushin I.E. *Mapping and monitoring of benthos in the Barents Sea and Svalbard waters: Results from the joint Russian-Norwegian benthic programme 2006–2008*. IMR/PINRO Joint Report Series 1–2010: 114 p.
44. Denisenko S.G. 2008. *Makrozoobentos Barentseva moray v usloviyakh menyauschegosya klimata I antropogennogo vozdeystviya. Avtoreferat dissertatsii doktora biologicheskikh nauk. [Macrozoobenthos of the Barents Sea in a changing climate and anthropogenic impacts. SciD Abstract]*. 03.00.18.46. St-Petersburg: 46 p. (In Russian).
45. Galkin Yu.I. 1998. Long-term changes in the distribution of mollusks in the Barents Sea related to the climate. *Berichte zur Polarforschung*. (287): 100–143.
46. Bochkov Yu.A., Kudlo B.P. 1973. [Long-term fluctuation of the water temperature in the Barents Sea and its influence to the total biomass of the benthos]. In: *Sostav, rasprostranenie i ekologiya donnoy fauny Barentseva moray. [Composition, distribution and ecology of the bottom fauna in the Barents Sea. Proceeding of the scientific conference:]*. Murmansk, PINRO Publishers: 3–7. (In Russian).
47. Denisenko S.G. 2006. [Long-Term Changes in Zoobenthos in the Pechora Sea]. *Izvestiya Russkogo Geograficheskogo Obschestva*. 138(2): 37–48. (In Russian).
48. Frolova E.A., Lyubina O.S., Dikaeva D.R., Akhmetchina O.Yu, Frolov A.A. 2007. [Effect of climatic changes on the zoobenthos of the Barents Sea (on the example of several abundant species)]. *Doklady akademii nauk*. 416(1): 1–3. (In Russian).