

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- the Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Circum-Pacific Map Series CP-45, scale 1:10,000,000, 1 sheet.
- Fedorov A. N., 1996.** Effects of recent climate change on permafrost landscapes in central Sakha, *Polar Geography*, No. 20, pp. 99–108.
- Frauenfeld O. W., Zhang T., Barry R. G., and Gilichinsky D., 2004.** Interdecadal changes in seasonal freeze and thaw depths in Russia, *J. Geophys. Res.*, vol. 109, D05101, doi:10.29/2003JD004245.
- Lachenbruch A. H. and Marshall B. V., 1986.** Changing climate: Geothermal evidence from permafrost in the Alaskan Arctic, *Science*, vol. 234, pp. 689–696.
- Majorowicz J. A. and Skinner W. R., 1997.** Anomalous ground warming versus surface air warming in the Canadian Prairie provinces, *Climatic Change*, vol. 35, No. 4, pp. 485–500.
- Nelson F. E., 2003.** (Un)frozen in time, *Science*, vol. 299, pp. 1673–1675.
- Osterkamp T. E. and Romanovsky V. E., 1999.** Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska, *Permafrost and Periglacial Processes*, No. 10, pp. 17–37.

### 2.8. СЕВЕРНЫЕ МОРЯ

*Ведущие авторы: И. Е. Фролов, А. В. Цыбань*  
*Авторы: Г. В. Алексеев, С. П. Барينو, Ю. Л. Володкович, З. М. Гудкович, В. П. Карклин, Ю. В. Лупачев, И. О. Умбрумянц, С. В. Фролов, Т. А. Шука*  
*Редактор-рецензент: А. П. Левич*

#### 2.8.1. Общая характеристика

Данный раздел посвящен северным морям, омывающим берега России. К ним отнесены арктические моря, а также Балтийское и Берингово моря. Влияние изменения климата на эти моря и их береговые зоны представляет существенный интерес с экономической и экологической точек зрения, поскольку их роль в экономике страны значительна, а экосистемы северных морей особенно чувствительны к изменению состояния среды, в том числе к изменению климата.

В пределах Арктики расположены территории, континентальный шельф и экономические зоны восьми арктических государств — России, Канады, Соединенных Штатов Америки, Норвегии, Дании, Финляндии, Швеции и Исландии. По площади арктическая зона России — около 3,1 млн. км<sup>2</sup>, или 18% общей площади территории страны. Площадь континентального шельфа в арктической зоне России составляет более 4,0 млн. км<sup>2</sup> (около 70% ее континентальных шельфов). В этой зоне сосредоточены основные запасы ряда важнейших полезных ископаемых (Филиппов, Жуков, 2004): 80% общероссийских разведанных запасов газа промышленных категорий, 90% извлекаемых ресурсов углеводородов всего континентального шельфа Российской Федерации (из них 70% — на шельфе Баренцева и Карского морей), 15–20 млрд. т прогнозируемых запасов углеводородов (в переводе на условное топливо) находятся в глубоководной части Северного Ледовитого океана. Добыча 91% природного газа сконцентрирована в арктической зоне России.

Морская деятельность на северных морях России и экономическое развитие северных регионов в значительной степени зависят от климата. Так, например, климат, в особенности повторяемость и интенсивность экстремальных гидрометеорологических явлений, ледовые условия влияют на эффективность и безопасность добычи полезных ископаемых и морских транспортных перевозок, на возможности развития и сохранность инфраструктуры. Климат в значительной степени влияет на доступность морских биоресурсов, в том числе на условия и эффективность рыболовства.

Однако последствия изменения климата имеют не только экономическую, но и экологическую составляющую. Экосистемы северных морей, в особенности арктических, весьма чувствительны к внешним воздействиям. Это касается и загрязнения морской среды, которое, как правило, удаляется за счет естественных процессов гораздо медленнее, чем в южных морях, и изменения таких базовых характеристик водной массы, как температура и соленость. Изменение климата влияет на эти процессы, что приводит к последующим модификациям экологических процессов в морских экосистемах, к изменению их видового состава и продуктивности. В итоге это сказывается и на продуктивности популяций экономически значимых пород рыб и других морских организмов.

В данном разделе будут рассмотрены некоторые последствия изменения климата для физических и экологических систем северных морей, а также для хозяйственной деятельности.

#### 2.8.2. Климат и хозяйственная деятельность

##### 2.8.2.1. Температура воздуха в приповерхностном слое атмосферы

Температура воздуха в большинстве арктических регионов в целом за XX век повысилась (Алек-

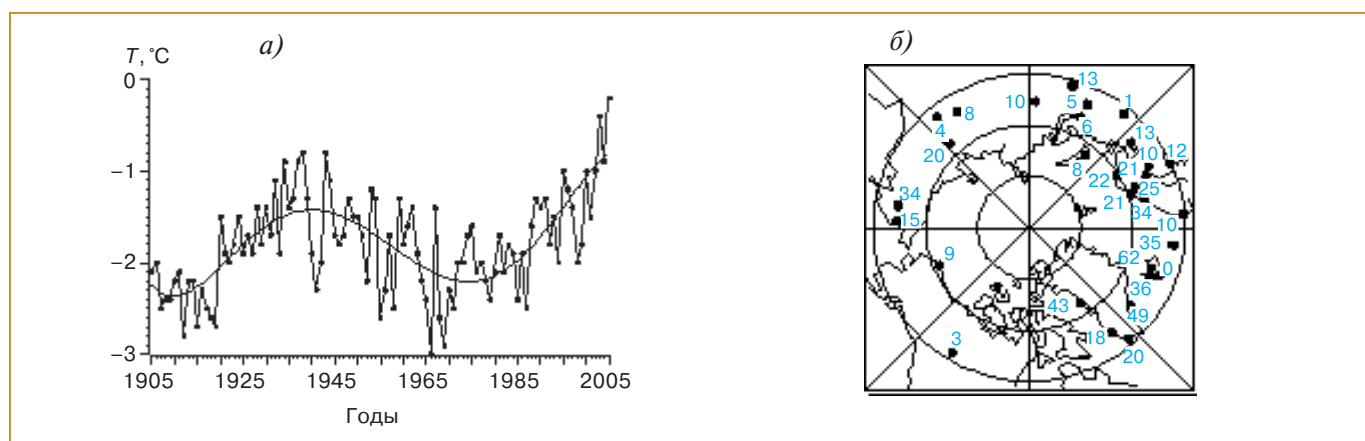
## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

сеев, Иванов, 2003). В 2005 г. средняя годовая температура в области севернее  $60^\circ$  с. ш. впервые пре-  
взошла уровень, достигнутый в период потепления Арктики 1930–1940-х годов (см. рис. 2.8.1). Это за-  
метно и на рис. 2.8.2, на котором представлены данные средней температуры в широтной зоне  
 $70\text{--}85^\circ$  с. ш. в XX веке — начале XXI века.

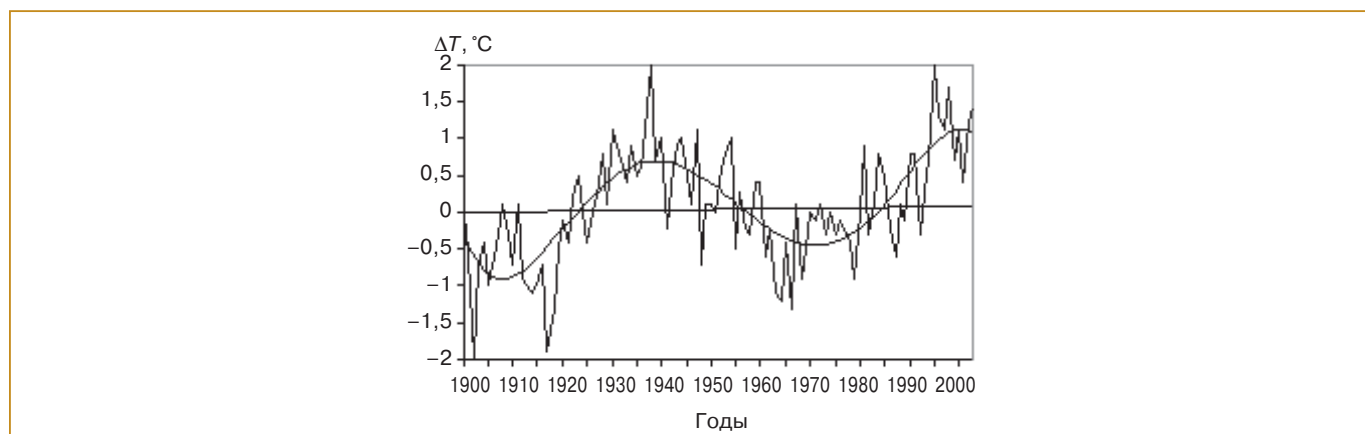
В вековом ходе температуры прослеживается колебание с периодом около 60 лет. Вклад этого колебания в изменчивость среднегодовой темпе-  
ратуры максимален в приатлантической Арктике, что указывает на определяющую роль Северной  
Атлантики в его формировании (Алексеев (ред.), 2004). На рис. 2.8.1 заметно, что амплитуда этих  
естественных колебаний температуры в XX веке значительно превосходит ее систематическое из-  
менение за столетие, что, однако, не противоре-

чит наличию этого положительного тренда, отме-  
ченного в Четвертом оценочном докладе Меж-  
правительственной группы экспертов по измене-  
нию климата (Climate Change, 2007, 2007a, 2007b).

Изменения температуры воздуха, представленные на рис. 2.8.1 и 2.8.2, в определенной мере  
характерны и для зоны умеренных широт Север-  
ной Евразии, в которой важным фактором форми-  
рования поля температуры является интенсив-  
ность западно-восточного переноса, приносящего  
тепло и влагу с океана на материк (Фролов и др.,  
2007). Формирование 60-летнего цикла обусловле-  
но изменениями общей циркуляции атмосферы,  
характеризующимися значительным понижением  
атмосферного давления над Арктикой в периоды  
потеплений. Это находит отражение в изменениях  
индексов зональной циркуляции (арктическое, се-  
вероатлантическое и др. колебания).



**Рис. 2.8.1.** Среднегодовая температура воздуха  $T$  ( $^\circ\text{C}$ ) в приповерхностном слое атмосферы в 1900–  
2005 гг.: осредненные данные 30 станций, расположенных севернее  $60^\circ$  с. ш. (а) (жирная кривая пред-  
ставляет долгопериодное колебание, аппроксимированное полиномом Чебышева 4-й степени), и вклад  
(%) долгопериодного колебания в изменчивость (дисперсию) ряда среднегодовой температуры (б)  
(Алексеев, 2003; Алексеев (ред.), 2004).



**Рис. 2.8.2.** Аномалия среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне  $70\text{--}85^\circ$  с. ш. в XX веке —  
начале XXI века и 60-летняя составляющая ее колебаний (Фролов и др., 2007).

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

### 2.8.2.2. Морской ледяной покров

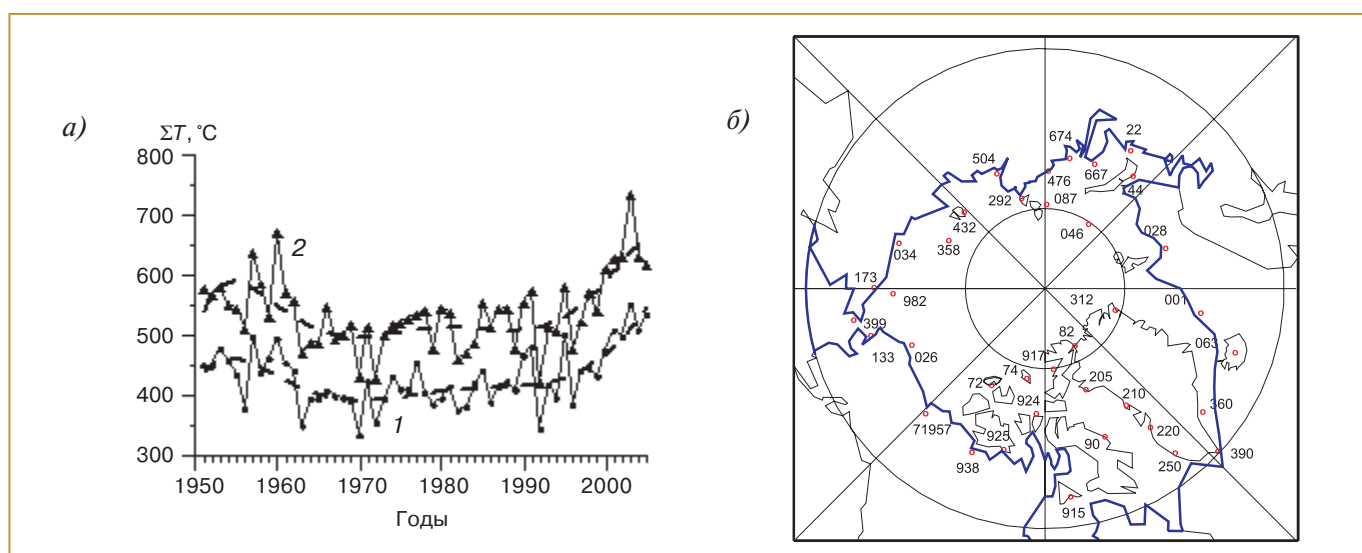
Изменения температуры воздуха летом в большей степени влияют на изменения морского ледяного покрова, чем изменения температуры зимой. Индекс суммы положительной среднесуточной температуры воздуха  $\Sigma T$  за лето в морской части Арктики на протяжении 1951–2005 гг. указывает на то (см. рис. 2.8.3), что наиболее благоприятными условиями для таяния снега и льда в морской Арктике были в 1950–1960-е годы и особенно в начале XXI века (Алексеев и др., 2006).

Площадь морского льда в Северном Ледовитом океане в конце летнего периода, сокращавшаяся с начала регулярных наблюдений со спутников в 1978 г., в 2005 г. достигла абсолютного минимума

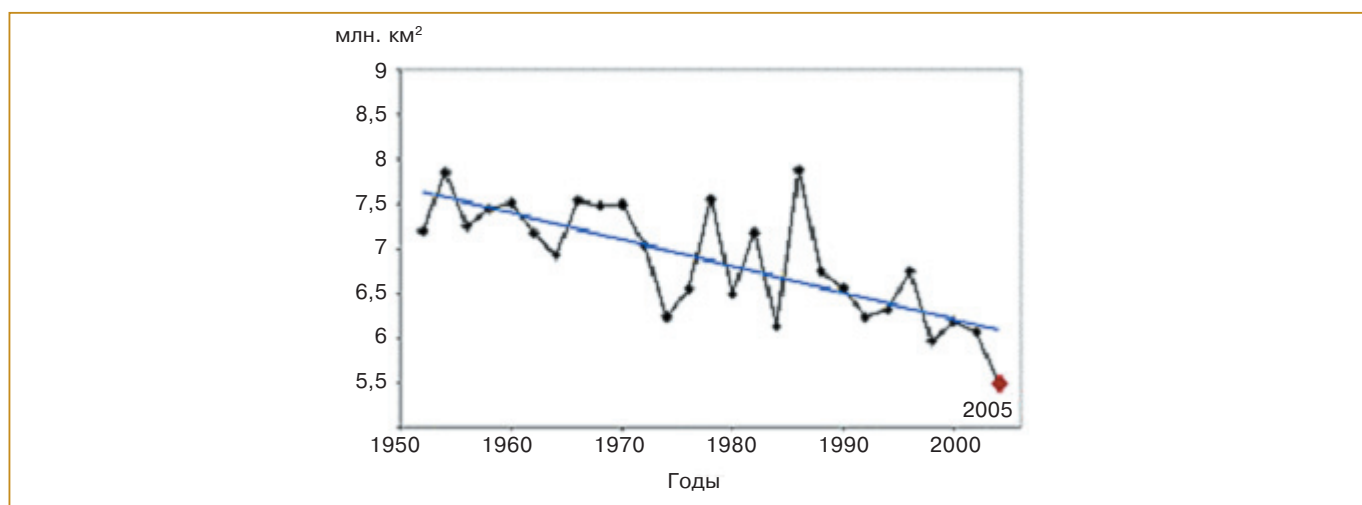
за период 1978–2005 гг. (рис. 2.8.4); в 2006 г. она еще уменьшилась (NSIDC, 2005).

Как видно на рис. 2.8.5, площадь льдов в арктических морях евразийского шельфа в XX веке постепенно уменьшалась; наиболее значительные изменения произошли в морях Баренцевом, Карском и Чукотском, а также в море Бофорта (Belchansky et al., 2005).

При анализе длительных изменений морского ледяного покрова для западных и восточных морей Северного морского пути (см. рис. 2.8.6) на фоне линейных трендов прослеживается колебание с периодом около 60 лет (Карклин и др., 2001; Гудкович и др., 2005), более заметное в западных морях. На фоне этих колебаний происходили так-



**Рис. 2.8.3.** Суммы положительной среднесуточной температуры воздуха летом  $\Sigma T$  в морской части Арктики в 1951–2005 гг. (а); положение метеостанций, данные которых использованы для расчета сумм (б). Показаны три последние цифры индекса станции по каталогу ВМО в базе данных (Александров, Дементьев, 1995). 1 — в среднем по всей морской Арктике; 2 — в среднем по приатлантической части.



**Рис. 2.8.4.** Площадь области распространения арктического морского льда в сентябре (NSIDC, 2005).

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

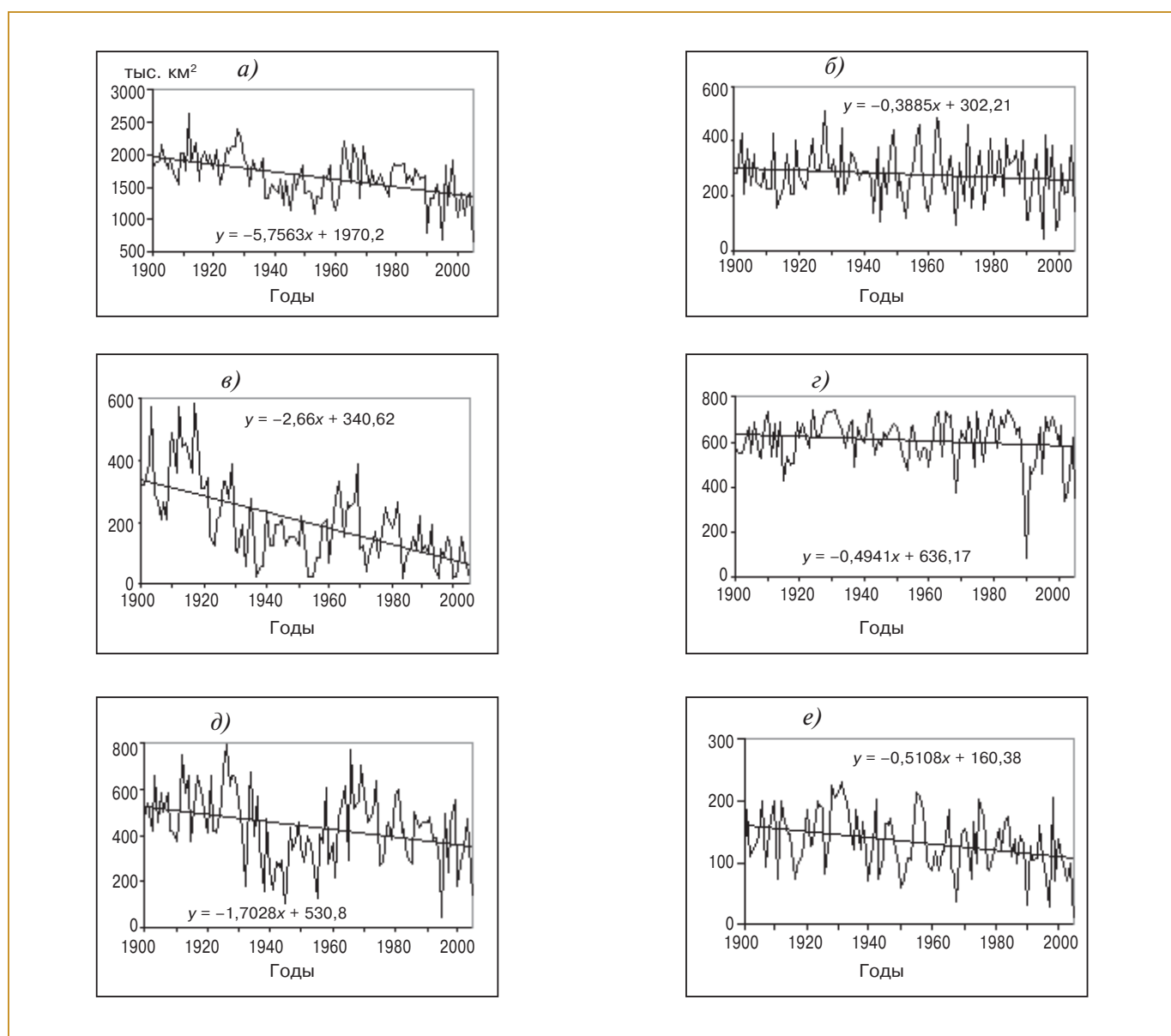
же значительные межгодовые колебания (Алексеев и др., 2006).

В приатлантическом регионе (моря Гренландское, Баренцево и Карское) изменения ледовитости заметно отличаются от изменений в восточном регионе Северного морского пути (моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское) как значениями линейного тренда, так и амплитудами 60-летнего цикла (см. рис. 2.8.6).

В зимний период около 29% площади арктических морей занимают припайные (неподвижные) льды. На протяжении периода наблюдений с 1930-х годов изменения суммарной площади припая в арктических морях происходили в пределах

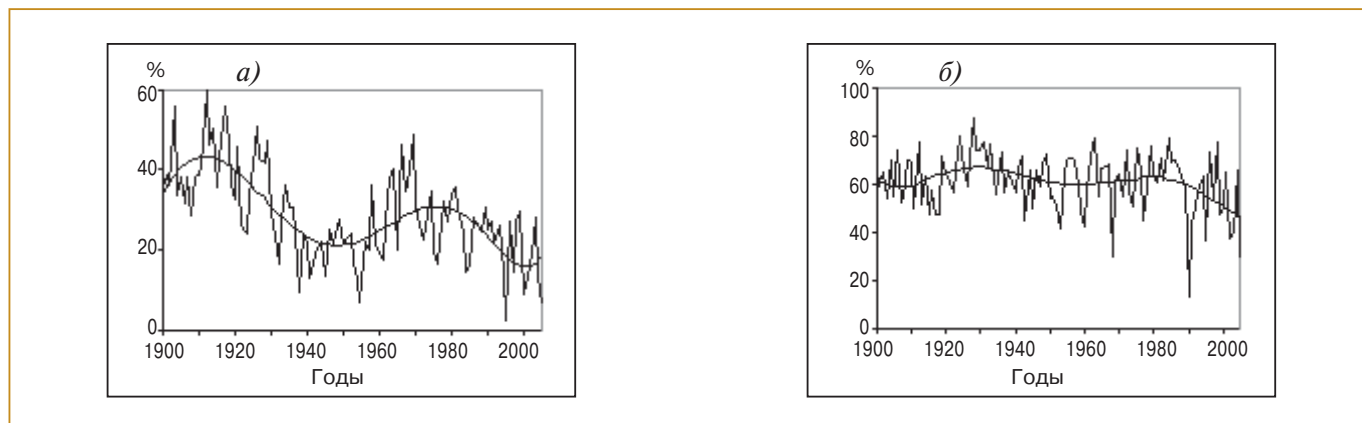
470–800 тыс. км<sup>2</sup>. Минимальная площадь припая наблюдалась в 1995 г. В среднем за последние 20 лет общая площадь припая по сравнению с таким же предыдущим периодом уменьшилась на 20 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет всего 3% средней площади. В целом межгодовые колебания площади распространения припая и его толщины не показывают значимых трендов к уменьшению (табл. 2.8.1).

Значительно меньше данных имеется о толщине льда в Арктическом бассейне. Основным источником сведений здесь являются наблюдения дрейфующих экспедиций и сонарные измерения с подводных лодок. По данным наблюдений экспе-



**Рис. 2.8.5.** Изменения площади (тыс. км<sup>2</sup>) распространения льдов в арктических морях в августе и линейные тренды в 1900–2005 гг. а) суммарная площадь; б) море Лаптевых; в) Баренцево; г) Восточно-Сибирское; д) Карское; е) Чукотское море.

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



**Рис. 2.8.6.** Суммарная ледовитость в августе в западных морях (Баренцево и Карское) и восточных морях Северного морского пути (моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское; % площади регионов). а) западные моря; б) восточные моря. Плавная линия — 60-летняя составляющая колебаний ледовитости.

**Таблица 2.8.1.** Средняя толщина припайного льда (см) в арктических морях в конце сезона нарастания (Фролов и др., 2007)

Годы	Все моря	Карское море	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море
1940–1964	194	176	222	187
1965–1984	196	187	224	186
1985–2004	191	171	219	186

диции на ледокольном пароходе “Г. Седов”, толщина однолетнего льда в конце зимы 1939 г. (период первого в XX веке потепления Арктики) оказалась на 20% меньше, чем по наблюдениям экспедиции на “Фраме” (1895 г.) примерно в том же районе (Визе, 1937). По наблюдениям последних дрейфующих станций СП-32, СП-33 и СП-34 (2003–2006 гг.), толщина льда в конце XX века (второй период потепления Арктики) в приполюсном районе существенно не отличается от измеренной в экспедиции на ледокольном пароходе “Г. Седов” (Фролов и др., 2007).

Анализ данных, собранных подводными лодками в приполюсном районе с помощью сонаров (Rothrock and Maykut, 1999), показал, что толщина льда здесь за период с середины 1970-х годов к началу 1990-х годов уменьшилась на 1,0–1,5 м, т. е. примерно на 40%. В качестве причины этого называлось влияние антропогенного глобального потепления. Однако анализ тех же материалов, проведенный рядом других ученых (Shy and Walsh, 1996; McLaren et al., 1994), не подтвердил наличия таких изменений.

Граница преобладания многолетних льдов в восточном секторе Арктического бассейна от 1960–1979 гг. к 1980–2000 гг. сместилась к югу в среднем на 300 км (Фролов и др., 2007). Аналогич-

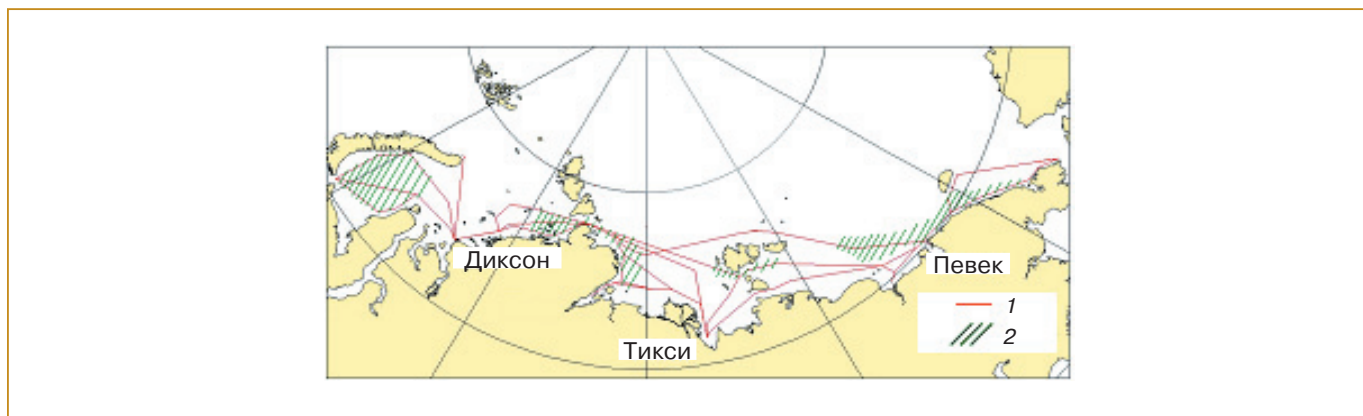
ное смещение наблюдалось по данным радиолокационных и микроволновых спутниковых наблюдений за период 1983–2005 гг. (Асмус и др., 2005). Этот сдвиг объясняется ослаблением выноса льдов из Арктического бассейна и разрежением ледяного покрова при усилении циклонической деятельности в периоды потепления.

### 2.8.2.3. Судходство и другие виды хозяйственной деятельности

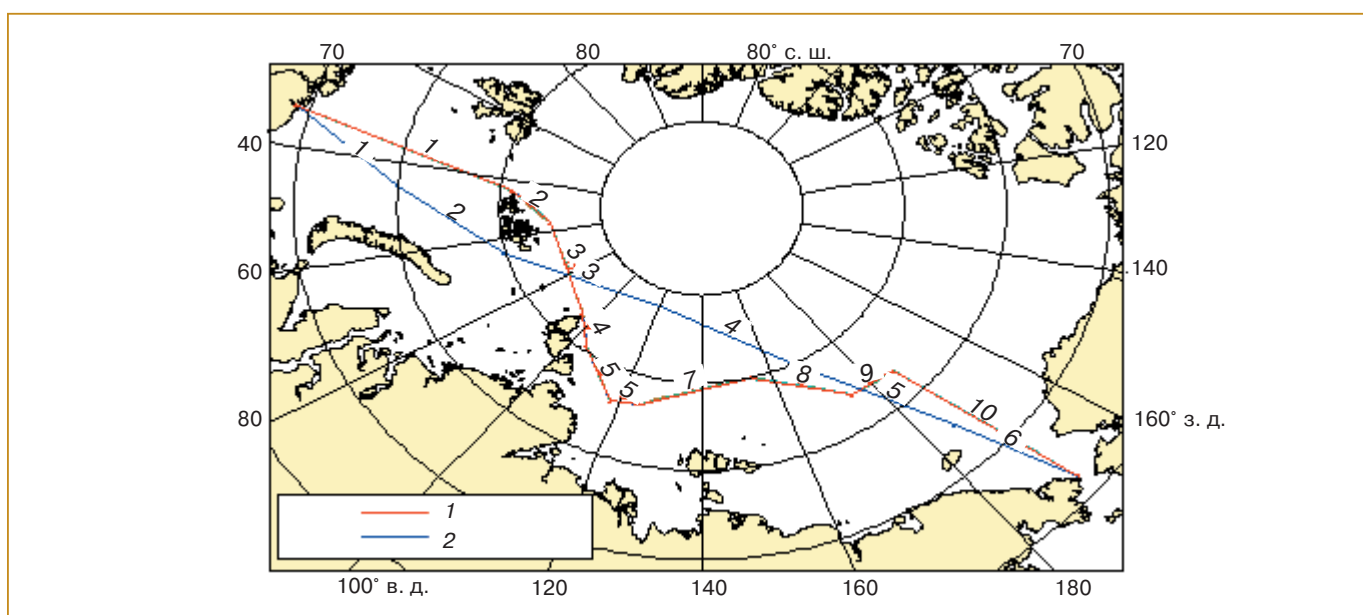
Изменения климата существенно влияют на ледовые условия в районах, где в настоящее время проходят трассы Северного морского пути (рис. 2.8.7). Смещение ледовых массивов, появление айсбергов являются факторами риска для морских перевозок, добычи углеводородов, рыбного промысла.

Важной характеристикой условий судходства в арктических морях является продолжительность периода безледокольного плавания (Бузуев, Федяков, 1983). Средняя продолжительность периода сквозного безледокольного плавания по трассам Северного морского пути в зависимости от ледовых условий колеблется в пределах от 0 до 35 суток. При повышенной ледовитости в 1962–1983 гг. в 50% навигаций была необходима ледокольная

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



**Рис. 2.8.7.** Районы вдоль трассы Северного морского пути, где встречаются тяжелые ледовые условия. 1 — трассы плавания; 2 — район с неблагоприятными ледовыми условиями.



**Рис. 2.8.8.** Высокоширотные транзитные трассы. 1 — маршрут вдоль материкового склона; 2 — высокоширотный маршрут.

проводка для сквозного плавания, а при пониженной ледовитости — в 17% в 1933–1961 гг. и в 14% в 1984–2004 гг. Таким образом, даже в периоды потеплений на лимитирующих участках трассы необходима ледокольная проводка. Это подтверждается фактическими данными о продолжительности периода сквозного безледокольного плавания по трассе Северного морского пути в 1940–2000 гг. В 2001–2005 гг. в конце летнего сезона — в августе и сентябре — существенно улучшились ледовые условия плавания по высокоширотным трассам к северу от арктических архипелагов Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, Новосибирские острова (см. рис. 2.8.8). Максимальное увеличение протяженности пути плавания по чистой воде и умень-

шение протяженности пути в сплоченных льдах за этот период отмечено в сентябре на сезонном минимуме площади льда.

### 2.8.2.4. Арктическая суша

Потепление климата ведет к деградации ледников и вечной мерзлоты на арктической суше. В 2002 и 2005 гг. сильнейшее за 27-летний период летнее таяние наблюдалось у Гренландского ледника, самого крупного в Северном полушарии (NSIDC, 2005). В российской Арктике ледники покрывают остров Новая Земля, архипелаги Земля Франца-Иосифа и Северная Земля (см. подробное раздел 2.7). В последние 50 лет наблюдается

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

отступление фронтов и сокращение площади некоторых выводных ледников в Западной Арктике. При этом количество айсбергов, отделяющихся от выводных ледников, не убывает. В отдельные годы наблюдается смещение границы распространения айсбергов к югу (Наумов и др., 2003; Zubakin et al., 2005) в районы, где разворачиваются работы по разведке и добыче нефтеуглеводородов и проходит трасса Северного морского пути, что создает дополнительные риски.

Вследствие более активной деградации вечно-мерзлотных пород, разрушения арктических берегов, навалов льда и некоторых других процессов отмечаются осложнения для прибрежной инфраструктуры. Подобные явления наблюдались и в период первого потепления Арктики, когда вследствие деградации вечно-мерзлотных пород исчезли располагавшиеся ранее в море Лаптевых острова Васильевский и Семеновский.

Увеличение безледного периода усиливает воздействие волнения на берега, прибрежные и морские сооружения (Стратегический прогноз на период до 2010–2015 годов..., 2006). Побережьям моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря свойственны наибольшие скорости размыва. У льдистых толщ, слагающих берега восточных морей побережья российской Арктики, при повышении уровня моря скорость разрушения берегов самая большая — до 13 м/год (о. Муостах), даже несмотря на короткий период открытой от льда акватории в прибрежной зоне. По данным наблюдений на архипелаге Северная Земля, один осенний шторм разрушает берег на многие метры вглубь. В промежутках между штормами термоденудация разрушает бровку уступа размыва, подготавливая уступ к катастрофическому отступанию во время следующего эпизода открытой воды и сильного шторма. Берега разрушаются и под действием подвижек льда, и в результате действия штормов, когда в воде содержится мелкобитый лед, что оказывает дополнительное разрушительное действие.

Под влиянием потепления климатически обусловленные современные границы природных зон Северного полушария смещаются к северу. Общая площадь арктических биомов при этом сокращается. В первую очередь это сокращение касается прибрежных наземных экосистем. Происходят изменения ареалов биологических видов, путей миграций животных, дат фенологических явлений. Несомненно, что наиболее драматические изменения могут происходить у эндемичных видов, имеющих оптимальные условия обитания в пределах их ареалов в арктической зоне, а также у пагофильных и криопелагических видов, находящихся в тесной зависимости от морских льдов (Green et al., 1999; ASIA, 2004).

### 2.8.3. Биологические системы северных морей

#### 2.8.3.1. Вводные замечания

Функционирование морских экосистем существенно зависит от абиотических, в том числе и от климатических факторов: солнечной радиации, взаимодействия океана с атмосферой, геофизических, гидрологических, оптических свойств воды, ледовых, гидрохимических, геоморфологических условий. Изменения морских экосистем могут быть обусловлены как естественными, так и антропогенными факторами. Изменение климата в XX — начале XXI века повлияло на параметры морской среды, в том числе на важнейшие из них — температуру и соленость воды и, следовательно, на пространственное распределение гидробионтов.

Уязвимость северных морских экосистем к изменению климата обусловлена их особыми свойствами, в частности, специфическим световым режимом, значительными сроками ледового периода, низкой температурой воды, короткими пищевыми цепями. Ниже приведены изменения показателей состояния биологических систем некоторых северных морей, связанные с изменением климата.

#### 2.8.3.2. Балтийское море

*Микробиологические показатели.* Микробные ценозы отличаются высокой физиологической активностью и быстрой реакцией на изменения среды. Формирование бактериальной микрофлоры в пелагиали Балтийского моря тесно связано с динамикой водных масс, температурным и кислородным режимами. Повышение температуры стимулирует метаболические процессы бактерий. Однако анализ долгопериодных исследований бактериопланктона в открытой части моря показал, что его концентрация за 1976–2000 гг. уменьшилась в пять раз; наиболее значительные изменения произошли в южной и центральной части моря, минимальные — в северной Балтике (Исследование экосистемы Балтийского моря, 2005).

*Фитопланктон.* Изменение температуры воды воздействует на развитие разных групп фитопланктона неодинаково. Планктонные диатомовые микроводоросли массово развиваются при температуре, немного превышающей температуру таяния льда, и ингибируются при значительном повышении температуры. Синезеленые микроводоросли, напротив, формируют устойчивое “цветение” при температуре, превышающей 16°C. Значительное потепление может изменить видовой состав фитопланктона. Потепление ингибирует развитие холодноводных видов, главным образом диатомей, но благоприятно для тепловодных видов, таких

как токсичные цианобактерии *Nodularia spumigena* (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006). На “цветение” цианобактерий климатические факторы могут влиять сильнее, чем эвтрофикация.

Изменение температуры влияет на водную стратификацию. Некоторые водоросли предпочитают устойчивую стратификацию, другие — перемешанный водный слой. Показано, что регулярные до 1988 г. “цветения” диатомовых водорослей с 1988–1989 гг. сократились в отсутствие конвективного перемешивания. Напротив, доля динофлагеллят, предпочитающих стабильные условия, с 1989 г. увеличилась (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Наиболее значительные изменения фитопланктона отмечены в заливах Балтийского моря. В Куршском заливе основу фитопланктона составляли зеленые, диатомовые и синезеленые водоросли (Семенова, Смыслов, 2005). В 1930–1950 гг. в видовом составе преобладали диатомовые, а с 1970-х годов — зеленые водоросли. Некоторые ранее доминировавшие водоросли с 1970-х годов практически исчезли. С 1990-х годов под влиянием антропогенного загрязнения, эвтрофирования и потепления в составе фитопланктона стали преобладать цианобактерии. В настоящее время в вегетации фитопланктона Куршского залива регистрируются не два, а три пика: весенний, летний и осенний, не отмеченные в 1970-е годы. Период вегетации планктонных водорослей расширился, весенний и летний максимумы сместились к более ранним датам примерно на три недели. На рубеже XX и XXI веков существенно увеличилось видовое разнообразие фитопланктона, главным образом, за счет зеленых водорослей (Семенова, Смыслов, 2005).

**Зоопланктон.** Климатические факторы влияют на зоопланктон Балтийского моря. Уменьшение солености и повышение температуры привели к уменьшению доли видов, приспособленных к высокой солености и низкой температуре, например холодноводного *Pseudocalanus elongatus*, и к увеличению доли тепловодных форм (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006). Увеличение доли фитофагов в 1960–1980-е годы в 1990-е годы сменилось ростом доли эврифагов в 2,5 раза — эвритермных и эвригалинных *Acartia spp.* (Жигалова, Пужакова, 2002).

В первой половине XX века Балтийское море относили к олиготрофным водоемам, с 1970-х годов наметилась тенденция повышения его продуктивности (Исследование экосистемы Балтийского моря, 2005). В конце 1990-х — начале 2000-х годов биомасса зоопланктона была больше, чем в предыдущие годы, в 1,7 раза зимой и в 11,4 раза летом (Жигалова, Пужакова, 2002).

Изменение гидрологической среды в Балтийском море под влиянием климатических и других

факторов привело к успешному вселению целого ряда видов из других мест обитания. За последние 20 лет в Финский залив проникли три понто-каспийских вида, ставшие в настоящее время массовыми: моллюск *Dreissena polymorpha* (Pallas), амфипода *Pontogammarus robustoides* (Sars) и кладоцера *Cercopagis pengoi* (Ostroumov) (Родионова и др., 2005).

Недавний вселенец — эвригалинный, эвритермный рачок *C. pengoi*, способный переживать низкотемпературный период года, — был впервые обнаружен в северной Балтике в 1992 г. (Телеш и др., 2000; Науменко, Полунина 2000). Для акклиматизации *C. pengoi* в Балтийском море был необходим продолжительный период оптимальной для этого вида температуры, который, по всей видимости, установился в Балтийском море в 1990-е годы. *C. pengoi* встречался в водах юго-восточной Балтики только в условиях теплого лета в 2003 и 2005 гг., в то время как в 2004 г. в холодных условиях не обнаруживался (Shchuka, 2005).

В 2000 г. в восточной части Финского залива был впервые обнаружен понто-каспийский ветвистоусый рачок *Evadne anonyx*. За 2000–2004 гг. численность этого вида увеличилась на порядок (Rodionova and Panov, 2006). В 2003 г. в восточной части Финского залива был впервые обнаружен азовоморский ветвистоусый рачок *Cornigerius maeoticus maeoticus* (Родионова и др., 2005).

В 2006 г. в юго-западной части Балтики был обнаружен гребневик-вселенец *Mnemiopsis leidyi* — полиморфный вид с широкой толерантностью и высокой фенотипической изменчивостью (Hansson, 2006). В 2006 г. приповерхностная температура в юго-западной Балтике была на 3°C выше обычной. Численность *M. leidyi* была сравнима с численностью гребневика в течение первых лет вселения в Черное море. *M. leidyi* сильно воздействует на все уровни экосистемы и рыбный промысел в продуктивных Азовском, Черном и Каспийском морях (Javidpour et al., 2006).

**Зообентос.** Соленость оказывает сильное воздействие на пространственное распределение, структуру и видовой состав бентосных сообществ в Балтийском море. Устойчивая стратификация водного столба и изменение с глубиной концентрации кислорода формируют выраженную зональность. К настоящему времени по сравнению с первой четвертью XX века в верхних вентилируемых зонах биомасса макрофауны значительно увеличилась, в то время как в глубоководных бассейнах Балтийского моря в условиях гипоксии и аноксии периодически происходило вымирание донной фауны (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

В Балтийском море бентосные группы часто представлены единственным видом. Исчезновение такого вида может привести к потере целой функ-



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

циональной группы. Например, ранее очень многочисленный вид полихета *Scoloplos armiger* исчез на больших глубинах центральной и северной открытой части Балтики в 1970–1980 гг. из-за уменьшения солености, истощения кислорода и увеличения зоны сероводорода. В последние десятилетия *Scoloplos armiger* был единственным видом в огромном гипоксическом районе в центральной и северной части открытой Балтики, который мог осуществлять биотурбацию донных осадков (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Изменение среды обитания вследствие изменения климата может привести к успешной интродукции бентосных видов из других регионов, таких как Черноморско-Каспийский регион. В настоящее время чужеродные рачки *Amphipoda* составляют значительную часть бентоса в прибрежных водах Балтики, а в Щецинском и Вислинском заливах фауна донных ракообразных представлена исключительно видами-вселенцами (Grabowski et al., 2007). Высокий темп размножения внедряющихся видов по сравнению с местными видами обусловлен тем, что почти все амфиподы-вселенцы происходят из пресных и солоноватоводных бассейнов и являются эврибионтными, реже эвригаллиными. Сочетание высокой толерантности к теплым термическим условиям и загрязненности среды, а также хищническое поведение способствуют успешному внедрению чужеродных видов (Grabowski et al., 2007).

*Ихтиофауна.* В сообществе рыб в открытой части Балтийского моря доминируют треска, шпрот и сельдь. Вследствие изменения климата соотношение вес—возраст у сельди уменьшилось в 1980-х годах в разных частях Балтики, индивидуальная масса шпрота снизилась позже — в 1990-х годах (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Балтийская треска нерестится в придонном слое, где колебания температуры выражены слабо. Основным фактором, влияющим на сроки созревания и нереста трески, является уровень насыщения кислородом придонных вод. Икра балтийской трески успешно развивается в водах с концентрацией кислорода около 2 мл/л и соленостью более 11‰. Вызванная изменением климата перемена объема воды с такими характеристиками (нерестового слоя) с 1980-х годов стала причиной высокой смертности икры трески в Гданьской и Готландской впадинах (Карасева, 2006; Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006). За период 1948–1979 гг. содержание кислорода в придонном слое Гданьской впадины имело тенденцию к снижению, в 1990-е годы скорость истощения кислорода увеличилась, а в 1999–2001 гг. кислород практически отсутствовал. Соответственно в 1999–2001 гг. нерестовый слой в центре Гданьской впадины отсутствовал. Регистрируемые сроки массового размноже-

ния трески в Гданьской впадине в 1948–2001 гг. сдвинулись к более поздним датам — с апреля–июня на июнь–июль (Карасева, 2006; Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Размножение балтийского шпрота зависит главным образом от температуры, содержания кислорода в придонном слое и происходит при температуре более 4°C и содержании кислорода более 1,5 мл/л. Экстремально низкая температура в результате ветрового охлаждения неблагоприятно воздействует на развитие икры шпрота (Карасева, Зазера, 2002; Фельдман и др., 1998; Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006). Отсутствие с 1986–1987 гг. суровых зим и связанные с этим благоприятные температурные условия для выживаемости икры способствовали высокому репродуктивному успеху балтийского шпрота в течение 1990-х годов (Карасева, Зазера, 2002; Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

*Морские птицы.* Изменение климата оказывает влияние на популяции морских птиц, меняя области их распространения, численность, признаки и особенности видов, время и пути миграции. Прямые воздействия изменения температуры на воспроизводство популяций включают сокращение источников корма, ненормальное развитие эмбрионов и увеличение смертности птенцов.

Огромные (численностью более 10 млн.) популяции зимующих водных птиц особенно чувствительны к изменениям условий зимы. Анализ числа зимующих птиц среди прибрежных видов, таких как лебедь-шипун, хохлатая чернеть, обыкновенный гоголь, большой крохаль, в 1987–2002 гг. обнаружил широкомасштабный сдвиг распределения ядра популяций с юга на север. Основная часть зимующих птиц — бентосоядные и растительноядные виды. Изменение области их распространения к северу может изменить продукцию бентоса в северной части Балтийского моря. В начале 1990-х годов весенняя миграция птиц в целом начиналась раньше при том, что межвидовые и внутривидовые различия в сроках миграции были значительными. Было показано, что время размножения птиц в некоторых случаях сдвинулось к более ранним датам (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

*Морские млекопитающие.* Фауна морских млекопитающих Балтийского моря является подразделением умеренной североатлантической (субарктической) и арктической морской фауны. В Балтике обитает один вид китообразных — морская свинья — и три вида тюленей: обыкновенный тюлень, серый тюлень и кольчатая нерпа. Все эти виды зависимы от климата (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Популяция кольчатых нерп в Балтике насчитывает около 5500 животных. Для выращивания

детенышей кольчатые нерпы на льду сооружают норы из снега для защиты щенков от хищников и низкой температуры. Если для построения норы снега недостаточно, щенки рождаются на открытом льду, что снижает их выживаемость.

Популяция серого тюленя — наиболее массового вида тюленей в Балтийском море — насчитывает около 18 000 особей. Излюбленные места обитания серых тюленей — дрейфующие льды, островки и шхеры. Смертность щенков у тюленей, размножающихся на земле, значительно выше, чем у воспроизводящихся на льду. Щенки, рожденные на снежном льду, имеют существенно больший средний вес перед началом линьки, что служит важным фактором выживания в первый год жизни.

У обыкновенного тюленя в Балтийском море — южное распространение. Обыкновенные тюлени размножаются на земле в летний период. Достаточно высокая температура воды важна для времени выкармливания, роста и выживания щенков. Этот вид чувствителен к повышению уровня моря. Даже достаточно малое изменение уровня моря может превратить его места охоты и размножения в непригодные, поскольку обычно это очень низкие шхеры и рифы.

Морские свиньи относительно многочисленны в Каттегате и Датских проливах. Популяция в открытой Балтике составляет менее 600 особей. Она продолжает сокращаться. Молодь морских свиной рождается в летний период.

Популяции морских свиной и обыкновенных тюленей небольшие, и область их распространения постепенно сокращалась в течение XX столетия. Увеличение температуры и сокращение площади ледового покрова окажется благоприятным для этих видов.

### 2.8.3.3. Белое море

Белое море неоднородно по своим геоморфологическим характеристикам. В нем выделяется ряд районов: четыре относительно изолированных залива, глубоководный Бассейн, пролив — Горло моря и соединяющаяся с Баренцевым морем Воронка моря. Экосистемы каждого из этих районов имеют свои особенности, в том числе специфические реакции на изменение климата.

В районе Белого моря хорошо выражен положительный тренд температуры воздуха, климат становится более влажным. Речной сток в море также имеет заметную тенденцию к увеличению. Вследствие современного изменения климата температура поверхности моря повысилась, произошло некоторое опреснение вод, уменьшилась ледовитость моря и увеличилась продолжительность периода с температурой воды больше точки замерзания. Современное повышение сред-

него уровня Белого моря наблюдается с конца 1970-х — начала 1980-х годов. За этот период среднегодовой уровень Белого моря повысился на 10–12 см.

Оценки экологических условий Белого моря и их изменения, приведенные ниже в этом разделе, получены на основе данных следующих публикаций: (Обзор экологического состояния..., 1991; Обзор экологического состояния..., 1992; Обзор экологического состояния морей..., 1993; Обзор экологического состояния..., 1996; Обзор загрязнения окружающей природной среды..., 1998). Данные характеризуют состояние Белого моря в конце 1980-х годов и в 1990-е годы.

*Микробиологические показатели.* Оценки численности сапрофитных бактерий проводились прежде всего для Двинского и Онежского заливов, где их численность существенно превышала значения, характерные для других районов Белого моря. Сравнительно высокая численность сапрофитных бактерий, достигающая здесь  $10^3$ – $10^4$  кл/мл (число клеток в миллилитре воды), связана с повышенным речным стоком.

Сезонный рост концентрации сапрофитных бактерий связан с весенним пиком развития бактериопланктона и фитопланктона, когда морская среда обогащается лабильным органическим веществом. В летний и осенний периоды в Двинском и Онежском заливах численность сапрофитных бактерий существенно меньше, чем весной.

В целом можно отметить наличие некоторого положительного тренда, связанного с изменением климата, в численности и изменения в видовом составе бактериопланктона.

*Морские птицы.* Формирование и развитие в Белом море стационарных полыней и расширение зон чистой воды под влиянием потепления климата позволяет не только зимовать здесь ряду перелетных водоплавающих птиц, но и благополучно существовать оседлым беломорским популяциям обыкновенной гаги и атлантического чистика. Этому благоприятствует снижение суровости зим и уменьшение ледовитости моря.

*Морские млекопитающие.* Льды Белого моря являются местом сосредоточения значительной по численности популяции гренландского тюленя. Здесь эти животные производят потомство, а весной вместе со льдами уходят на откорм в Баренцево море и соседние воды, распределяясь вдоль кромки отступающих на север льдов.

Наблюдаемое под влиянием изменения климата уменьшение ледовитости моря отрицательно сказывается на условиях воспроизводства беломорской популяции гренландского тюленя и ведет к снижению ее численности.

*Марикультуры.* Белое море — весьма перспективный район для активного развития марикульту-

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

ры. В настоящее время в Белом море существуют различные формы марикультуры: по воспроизводству стада дальневосточного лосося, искусственному выращиванию мидии *Mytilus edulis*, форелей, промысловых водорослей (ламинарии, анфельции, фукусов). Практикуется также интенсивное размножение беломорской сельди путем применения искусственных нерестилищ. Современное изменение климата создает благоприятные условия для развития марикультур в Белом море.

### 2.8.3.4. Баренцево море

Экосистемы заливов Баренцева моря в значительной степени обособлены от его открытой части, которая находится под влиянием теплого Северо-Атлантического течения. В климатическом отношении на Баренцево море влияет приток теплых атлантических вод, которые распространяются на восток (Нордкапское течение) и север моря.

Современные тенденции, обусловленные изменением климата, проявляются в повышении температуры воды, уменьшении ледовитости северной части моря и подъеме его уровня (среднегодовой уровень воды за 1970–2005 гг. поднялся на 10–12 см).

Состояние Баренцева моря ниже оценивается по данным, представленным в следующих публикациях: (Обзор экологического состояния..., 1991; Обзор экологического состояния..., 1992; Обзор экологического состояния..., 1993; Обзор экологического состояния..., 1996).

*Промысловые объекты.* Основное промысловое значение в Баренцевом море имеют треска (*Gadus macrocephalus*), пикша (*Melanogrammus aeglefinus*), мойва (*Mallotus villosus*), сайда (*Pollachius virens*), сельдь (*Clupea harengus*), а также креветки. Главным промысловым объектом является треска. Этот вид составляет около 90% общего вылова. В малом количестве вылавливаются палтус, полярная треска — сайка (*Boreogadus saida*), окунь, глубоководная креветка (*Pandalus borealis*). Морская камбала, американская камбала, зубатка, сайка являются попутными объектами при тресковом промысле. В последние годы запасы ряда видов массовых рыб в Баренцевом море значительно сократились. Влияние современного потепления на популяции рыб можно оценить как положительное.

*Виды-вселенцы и возможная модификация экосистемы моря.* В Баренцевом море зарегистрированы представители новых видов-вселенцев, которые могут привести к некоторой модификации морской экосистемы (GIWA Regional Assessment 11, 2004). К вселенцам следует отнести горбушу (*Oncorhynchus gorbuscha*), красного королевского краба (*Paralithodes camtschaticus*) и снежного краба (*Chionoecetes opilio*).

Есть свидетельства того, что после акклиматизации горбуша в период морской жизни конкурирует с атлантическим лососем — семгой (*Salmo salar*).

Красный королевский краб — вселенец из дальневосточных морей. После акклиматизации его популяция достигла промысловых размеров. Широкое распространение этого агрессивного вида краба в южных районах моря может привести к крупномасштабным изменениям в экосистеме моря.

Снежный краб проник в Баренцево море из Северо-Западной Атлантики и постепенно распространился в восточном направлении. Изменение климата способствует этому процессу.

*Морские птицы.* Морские птицы, как и морские млекопитающие, занимают высший трофический уровень консументов в морских экосистемах. В Баренцевом море обитает 24 разновидности морских птиц. Морская орнитофауна в южной части моря состоит из двух видов чаек (*Larus argentatus*, *Larus marinus*). В северной части моря доминируют два других вида чаек (*Larus hyperboreus*, *Fulmarus glacialis*). Самые большие колонии морских птиц расположены на западном побережье Новой Земли и на Мурманском берегу. В этих колониях доминируют кайры (*Uria lomvia*, *U. aalge*), чайки-моевки, тупики и исландская полярная чайка (*Rissa tridactyla*). Современные изменения климата способствуют проникновению североатлантических популяций морских птиц в Баренцево море.

*Морские млекопитающие.* Среди морских млекопитающих необходимо отметить белых медведей, китов и ластоногих. Большинство представителей ластоногих и китов занесено в Красную книгу редких и защищенных животных Баренцева моря.

В Баренцевом море обитает 12 разновидностей китов. Из них основными обитателями моря являются арктический гренландский кит (*Balaena mysticetus*), нарвал (*Monodon monoceros*), белый кит-белуха (*Delphinapterus leucas*) и малый остроносый кит (*Balaenoptera acutorostrata*). Наиболее распространенными являются белуха и малый остроносый кит; они считаются промысловыми видами. Современные изменения климата приводят к увеличению численности китов в Баренцевом море.

В Баренцевом море обитают семь разновидностей ластоногих. Наиболее многочисленным видом является гренландский тюлень (*Pagophilus groenlandica*), условия обитания которого полностью связаны с кромкой арктических льдов, которая сдвигается к северу из-за потепления климата.

Сокращение площади арктических льдов, вызванное изменением климата, угрожает существованию белого медведя (*Thalassarctos (Ursus)*

*maritimus*) — редкого охраняемого вида, обитающего у берегов Земли Франца-Иосифа, Новой Земли и Шпицбергена.

### 2.8.3.5. Карское море

**Бентос.** Исследование биомассы многощетинковых червей (полихет) в Карском море в 1993–1994 гг. показало ее повсеместное увеличение с 1975 г. Оно произошло в основном в результате роста биомассы вида *Spiochaetopterus typicus* в Байдарацкой губе. Этот вид был ранее отмечен в 1945 г., но не обнаружен в 1975 г. (Фауна беспозвоночных..., 2003).

В. Н. Семенов (1989) высказал предположение о том, что причиной перестроек бентосных сообществ Карского моря являются долговременные изменения климата. Он учел естественное запаздывание реакции биологических сообществ на изменение климата на 5–7 лет и при этом предположении обнаружил некоторую связь происходящих изменений бентоса с аномалиями среднегодовой температуры. Данные об аномалиях температуры в слое 0–200 м на разрезе “Кольский меридиан” были получены Ю. И. Галкиным (1986), эта работа была продолжена до 1995 г. Н. М. Адровым и С. Г. Денисенко (1996). Было показано, что съемке Карского моря 1993–1994 гг. предшествовал 9-летний период положительной аномалии температуры, начавшийся в 1984 г. Таким образом, можно полагать, что в изменении видового состава и пространственного распределения многощетинковых червей в Карском море прослеживается связь с изменением климата.

### 2.8.3.6. Чукотское море

**Микробиологические показатели.** Таксономическое разнообразие бактерий в Чукотском море оценивается в 11–12 родов. Анализ рядов данных наблюдений свидетельствует, что в 2002 г. плотность бактериальной микрофлоры Чукотского моря увеличилась в среднем в 1,5–2 раза по сравнению с уровнем 1993 г.; средняя численность гетеротрофных сапрофитных бактерий была в 3,7 раза больше, чем в 1993 г. (Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, 2000). Как и ранее, наиболее многочисленным бактериопланктон был в прибрежной юго-западной полосе моря — до 2316 тыс. кл/мл и до 60,22 мкг С/л. К 2004 г. отмечено увеличение частоты встречаемости проб со значениями численности гетеротрофных сапрофитных бактерий в десятки, тысячи и десятки тысяч клеток на миллилитр, что свидетельствует о росте численности бактерий этой группы. Эти вариации численности и биомассы бактериопланк-

тона обусловлены в большей степени факторами гидрологического и гидрохимического режимов разных районов моря.

Развитие микробиоценозов, масштабы количественных изменений показателей бактериопланктона и его активность находятся в прямой зависимости от абиотических и биотических факторов и, следовательно, могут динамично отражать высокоширотные климатические изменения (Израэль, Цыбань, 1989). При этом в морской среде могут возникать условия для техногенно-климатической эволюции микроорганизмов, сопровождающиеся накоплением штаммов и их переходом в патогенные для гидробионтов и человека формы.

**Фитопланктон.** В фитопланктоне открытых вод Чукотского моря определены 62 таксономические единицы водорослей (Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, 2000); по фитогеографической принадлежности таксоны Чукотского моря относятся в основном к космополитам (28 из 45 видов с известным ареалом), и только 4 вида имеют тропический ареал.

Фитопланктон тесно связан с ледовым режимом моря (Cross, 1997). В южной части Чукотского моря отмечено влияние состояния льда на “цветение” двух групп фитопланктона, первая из которых характерна для шельфа в районе таяния льда, а вторая — для области свала глубин. Обращает на себя внимание развитие фитопланктона на нижней стороне льда в тот период, когда водная толща сама по себе непродуктивна ((Исследование экосистемы Берингова моря, 1983; Цыбань и др., 1992а, 1992б). Именно в этом биотопе (лед и его нижняя поверхность) процессы потепления арктического климата, приводящие в том числе к утончению льда и опреснению подледного слоя воды, могут вызвать наиболее выраженные изменения специфических фитоценозов (Eppley, 1972).

Можно полагать, что влияние изменения климата на состояние фитопланктона незначительно по сравнению с пространственными вариациями по акватории Чукотского моря.

**Продукционно-деструкционные процессы.** Первичная продукция органического вещества, синтезированного фитопланктоном, является энергетической основой биологической продуктивности морских экосистем. Она имеет первостепенное значение для понимания протекания биологических и других процессов и во многом отражает состояние биотических и абиотических (климатических и др.) параметров морской среды.

Анализ результатов долгопериодных исследований свидетельствует о том, что интенсивность продукционно-деструкционных процессов в море достаточно высока, и она значительно варьирует не только по акваториям в течение сезона, но и по годам (Динамика экосистем Берингова и Чу-

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

котского морей, 2000). В 2002 г. максимальные значения первичной продукции были отмечены на юге Чукотского моря — на выходе из Берингова пролива (до 2,1 г С/м<sup>2</sup> в сутки) и на северо-западе вблизи о. Врангеля. Скорость новообразования органического вещества в районах пакового льда оказалась сравнительно высока — в среднем 0,9 г С/м<sup>2</sup> в сутки. Предположительно в Чукотском море в процессе фотосинтеза за вегетационный период может ассимилироваться до 8,2 т углерода. Процесс образования первичной продукции существенно влияет на интенсивность обмена углекислоты и кислорода между океаном и атмосферой (Израэль, Цыбань, 1989; Израэль и др., 1992) и тем самым оказывает воздействие на климатические процессы (на содержание диоксида углерода в атмосфере и опосредствованно на парниковый эффект).

**Зоопланктон.** В составе мезозоопланктона Чукотского моря в 2002 г. насчитывали 53 таксона. Практически повсеместно доминировали веслоногие рачки копеподы — до 91 и 94% общей численности и биомассы соответственно. В основном это — эврибионтные виды. Обнаружены также и экопластичные виды гидромедуз, аппендикулярий. В большинстве исследованных районов плотных скоплений зоопланктонных организмов на поверхностных горизонтах не наблюдалось, вероятно, из-за низкой, иногда отрицательной, температуры. В целом сравнительный анализ характеристик мезозоопланктона за период 1988–2002 гг. показал, что существенных изменений его численности и биомассы в Чукотском море не произошло, но отмечена тенденция уменьшения численности и биомассы зоопланктона в северной части моря (Исследование экосистемы Берингова моря, 1990; Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, 2000; Цыбань и др., 1992а, 1992б).

### 2.8.3.7. Берингово море

**Микробиологические показатели.** По данным исследований состояния бактериопланктона Берингова моря в 1981–1993 гг. было показано, что в 1993 г. по сравнению с 1981 г. численность бактериопланктона увеличилась в 3,4 раза и в 19 раз увеличилась суточная продукция бактериальной биомассы. Наибольшая плотность бактериального населения в Беринговом море в 1993 г. была определена в мелководном Бристольском заливе. Максимальная плотность бактериального населения в южной глубоководной части Берингова моря была в 1988 г., наименьшая — в 1984 г. (Цыбань и др., 2000).

Суточная продукция бактериальной биомассы в 1993 г. увеличилась в 15 раз относительно 1981 г. и совсем незначительно по сравнению с 1988 г. Средние значения суточной продукции бактерио-

планктона в 1984 г. были в 5,6 раза больше по сравнению с 1981 г. Суточная продукция бактериальной биомассы в среднем увеличилась в 1,3 раза по сравнению с биомассой в 1984 г.

Таким образом, в период с 1981 по 1993 г. в эпипелагиали Берингова моря численность бактериопланктона увеличилась в среднем в 4,0 раза и в 6,7 раза суточная продукция бактериальной биомассы, что свидетельствует о тенденции эвтрофирования под воздействием антропогенных факторов и, возможно, изменения климата (Цыбань и др., 2000).

Анадырский залив Берингова моря сравнительно мелководен (глубины менее 100 м). В 1993 г. по сравнению с 1988 г. отмечено резкое увеличение суточной продукции бактериальной биомассы.

Водные массы берингоморского шельфа в районе о-ва Св. Лаврентия характеризуются обилием микроорганизмов. Исследования подтверждают существенные изменения показателей микрофлоры. За 12 лет значительно увеличилась общая численность бактерий (в 4,0 раза) и суточная продукция бактериальной биомассы (в 3,8 раза) (Цыбань и др., 2000).

**Фитопланктон.** Видовой состав фитопланктона Берингова моря в 1993 г. по изученным пробам состоял из 155 видов, разновидностей и форм и по своему составу был таким же, что и в предыдущие годы (Вентцель, 1991; Цыбань и др.; 1992а, 1992б; Серова и др., 2000). Флора Берингова моря включала представителей 7 отделов; доминировали диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*). В этом отделе таксономическим разнообразием выделялся *Chaetoceros* — 25 видов, а в отделе *Pyrrophyta* наибольшее количество видов относилось к роду *Peridinium*. По фитогеографической принадлежности (Семина, 1960, 1974, 1981) большая часть зарегистрированных диатомовых водорослей Берингова моря относилась к космополитам (42%) и арктобореальным видам (24%), но была выявлена также существенная доля диатомовых видов фитопланктона с тропическим ареалом — до 20%, а в отделе *Pyrrophyta* тропических видов насчитывалось до 13%.

В период таяния льда диатомовые водоросли достигают таких скоплений, что становится видимой коричневая окраска нижней поверхности плавающих льдов. Визуально это “ледовое цветение” представляется более мощным, чем плотное диатомовое “цветение” летнего фитопланктона (Polar Marine Diatoms, 1990). Только что растаявший лед шельфовой зоны заселен плотными популяциями рода *Thalassiosira* и относительно небольшими популяциями *Nitzschia*, *Fragilariopsis* и *Navicula* sp.

Количество выявленных видов с тропическим типом ареала в 1993 г. в условиях повышения температуры воды в западной части Берингова моря увеличилось по сравнению с данными, по-

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

лученными несколько десятилетий назад (Сеничкина, 1987; Серова и др., 2000). Выявленное статистически достоверное увеличение доли тропических видов в сборах 1993 г. по сравнению с материалами 1950-х годов (Семина, 1960, 1974, 1981; Сеничкина, 1987) представляет значительный интерес, в том числе и с точки зрения оценки воздействия изменения климата на морской фитопланктон.

**Зоопланктон.** По данным исследований ИГКЭ, проведенных с 1981 по 1993 г., была показана тенденция уменьшения видового разнообразия зоопланктона на северном и восточном шельфе моря и в бассейне Чирикова. В южной и центральной части моря в 1993 г. по сравнению с 1988 г. в таксономическом составе зоопланктона значительных изменений не наблюдалось. В 1993 г. повсеместно возросла роль двух экологически пластичных видов копепод — мелкоразмерных *Oithona similis* и *Pseudocalanus minutus* (Куликов, Шука, 2000).

В глубоководных районах Берингова моря в период 1981–1993 гг. численность зоопланктона изменялась не более чем в 2 раза, в то время как в Анадырском заливе и на северном шельфе колебания численности зоопланктона составляли порядок. В целом в период исследований отмечено снижение общей численности зоопланктона.

### 2.8.4. Литература

- Адров Н. М., Денисенко С. Г., 1996.** Океанографическая характеристика Печорского моря, в кн.: Биоценозы гляциальных шельфов Западной Арктики, Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, с. 166–179.
- Алексеев Г. В., 2003.** Исследования изменений климата Арктики в XX столетии, Труды ААНИИ, т. 446, с. 6–21.
- Алексеев Г. В. (ред.), 2004.** Формирование и динамика современного климата Арктики, СПб, Гидрометеиздат, 400 с.
- Алексеев Г. В., Иванов Н. Е., 2003.** Региональные и сезонные особенности потеплений Арктики в 1930-е и 1990-е годы, Труды ААНИИ, т. 446, с. 41–47.
- Алексеев Г. В., Захаров В. Ф., Иванов Н. Е., 2006.** Изменения современного климата Арктики, Труды ААНИИ, т. 447.
- Александров Е. И., Дементьев А. А., 1995.** База приземных метеорологических данных полярных районов и ее использование, в кн.: Формирование базы данных по морским льдам и гидрометеорологии, СПб, Гидрометеиздат, с. 67–75.
- Асмус В. В., Кровотынцев В. А., Милехин О. Е., Тренина И. С., 2005.** Исследование многолетней динамики морского льда в Арктике по спутниковым радиолокационным данным, в сб.: Вопросы обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли, Труды НИЦ “Планета”, т. 46, № 1, с. 155–172.
- Бузуев А. Я., Федяков В. Е., 1983.** Комплекс характеристик ледяного покрова при разработке рекомендаций для судоходства, в кн.: Вопросы повышения прочности и надежности морских портовых сооружений, М., Транспорт, с. 89–97.
- Вентцель М. В., 1991.** Фитопланктон открытой и шельфовой области Берингова моря, Океанология, т. 31, № 2, с. 252–258.
- Визе В. Ю., 1937.** Причины потепления Арктики, Советская Арктика, № 1.
- Галкин Ю. И., 1986.** Многолетние изменения донной фауны в бентали Баренцева моря, Апатиты, Изд-во КФ АН СССР, с. 43–52.
- Гудкович З. М., Карклин В. П., Фролов И. Е., 2005.** Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова Евразийских арктических морей и их возможные причины, Метеорология и гидрология, № 6, с. 5–14.
- Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, 2000.** Вып. 4, под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, М., Наука, 357 с.
- Жигалова Н. Н., Пужакова Л. И., 2002.** Состояние и межгодовая динамика развития зоопланктона в водах южной Балтики в 1997–2001 гг., в сб.: Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2000–2001 годах, т. 2, Балтийское море, Калининград, Изд-во АтлантНИРО, с. 12–24.
- Израэль Ю. А., Цыбань А. В., 1989.** Антропогенная экология океана, Л., Гидрометеиздат, 528 с.
- Израэль Ю. А., Цыбань А. В., Уитледж Т. Е. и др., 1992.** Морские и полярные экосистемы и климат, в кн.: Исследование экосистем Берингова и Чукотского морей, вып. 3, СПб, Гидрометеиздат, с. 26–34.
- Исследование экосистемы Берингова моря, 1983.** Вып. 1, под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, Л., Гидрометеиздат, 157 с.
- Исследование экосистемы Берингова моря, 1990.** Вып. 2, под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, Л., Гидрометеиздат, 344 с.
- Исследование экосистемы Балтийского моря, 2005.** Под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, СПб, Гидрометеиздат, 324 с.
- Карасева Е. М., 2006.** Многолетняя изменчивость сроков массового нереста трески *Gadus morhua callarias* (*Gadidae*) в юго-восточной части Балтийского моря, Вопросы ихтиологии, т. 46, № 3, с. 345–355.
- Карасева Е. М., Зазера А. С., 2002.** Межгодовая изменчивость нерестового биотопа балтийского шпрота в весенние сезоны 1992–2000 годов и ее влияние на распределение икры и урожайности поколений, в сб.: Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2000–

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- 2001 годах, т. 2, Балтийское море, Калининград, Изд-во АтлантНИРО, с. 24–37.
- Карклин В. П., Юлин А. В., Карелин И. Д., Иванов В. В., 2001.** Климатические колебания ледовитости арктических морей сибирского шельфа, Труды ААНИИ, т. 443, с. 5–11.
- Куликов А. С., Шука Т. А., 2000.** Характеристика зоопланктона эпипелагиали, в кн.: Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, М., Наука, с. 141–163.
- Науменко Е. Н., Полунина Ю. Ю., 2000.** *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891) (*Crustacea, Cladocera*) — новый вселенец в Вислинский залив Балтийского моря, в сб.: Виды-вселенцы в европейских морях России, Мурманск, ММБИ КНЦ РАН, с. 121–129.
- Наумов А. К., Зубакин Г. К., Гудошников Ю. П., Бузин И. В., Скутин А. А., 2003.** Льды и айсберги в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения, Труды РАО-03, СПб, с. 337–342.
- Обзор загрязнения окружающей природной среды в Российской Федерации за 1997 г., 1998.** М., Центр международных проектов.
- Обзор экологического состояния морей СССР и отдельных районов Мирового океана за 1990 г., 1991.** Л., Гидрометеиздат, 144 с.
- Обзор экологического состояния морей Российской Федерации и отдельных районов Мирового океана за 1991 г., 1992.** Л., Гидрометеиздат, 189 с.
- Обзор экологического состояния морей Российской Федерации и отдельных районов Мирового океана за 1992 г., 1993.** Л., Гидрометеиздат, 174 с.
- Обзор экологического состояния морей Российской Федерации и отдельных районов Мирового океана за 1993–1995 гг., 1996.** М., ИГКЭ, 186 с.
- Родионова Н. В., Крылов П. И., Панов В. Е., 2005.** Проникновение хищной понто-каспийской кладоцеры *Cornigerius maeoticus maeoticus* (Pengo, 1879) в Балтийское море, *Океанология*, т. 45, № 1, с. 73–75.
- Семенов В. Н., 1989.** Многолетние изменения биоценозов донной фауны Карского моря и соседних акваторий, в сб.: Экология и биоресурсы Карского моря, Апатиты, Изд-во КНЦ АН СССР, с. 145–150.
- Семенова С. Н., Смыслов В. А., 2005.** Состояние фитоценоза Куршского залива Балтийского моря на рубеже XX–XXI веков, в сб.: Гидробиологические исследования в бассейне Балтийского моря, Атлантическом и Тихом океанах на рубеже тысячелетий, Калининград, Изд-во АтлантНИРО, с. 17–64.
- Семина Г. И., 1960.** Качественный состав фитопланктона Берингова моря. 1. Золотистые, перидиниевые и разножгутиковые водоросли, Ботанические материалы отдела споровых растений Ботанического института им. В. Л. Комарова, т. 13, с. 35–43.
- Семина Г. И., 1974.** Фитопланктон Тихого океана, М., Наука, 239 с.
- Семина Г. И., 1981.** Качественный состав фитопланктона западной части Берингова моря и прилегающей части Тихого океана. 2. Диатомовые водоросли, в кн.: Экология морского фитопланктона, М., Институт океанологии АН СССР, с. 6–32.
- Сеничкина Л. Г., 1987.** Мелкие жгутиковые водоросли в летнем планктоне Берингова моря, Тезисы докладов III съезда советских океанологов, секция “Биология океана”, Л., Гидрометеиздат, ч. 3, с. 87–88.
- Серова Е. М., Шука Т. А., Вентцель М. В., 2000.** Состав и функциональные свойства планктонных сообществ, в кн.: Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, М., Наука, с. 122–140.
- Стратегический прогноз на период до 2010–2015 годов о влиянии ожидаемых изменений климата на отрасли экономики России и их проявлении в отдельных регионах страны, 2005.** Доклад Правительству Российской Федерации, М., Росгидромет.
- Телеш И. В., Литвинчук Л. Ф., Большагин П. В., Крылов П. И., Панов В. Е., 2000.** Особенности биологии понто-каспийского вида *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891) (*Crustacea, Cladocera*) в Балтийском море, в сб.: Виды-вселенцы в европейских морях России, Мурманск, ММБИ КНЦ РАН, с. 130–151.
- Фауна беспозвоночных Карского, Баренцева и Белого морей, 2003.** Отв. ред. Г. Г. Матишов, Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, 385 с.
- Фельдман В. Н., Назаров Н. А., Зезера А. С., 1998.** Многолетняя динамика запасов промысловых рыб Балтийского моря и влияние на нее факторов окружающей среды и промысла, в сб.: Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в Балтийском море в 1996–1997 гг., сборник научных трудов АтлантНИРО, с. 6–12.
- Филиппов В. В., Жуков М. А., 2004.** Проблемы устойчивого развития арктической зоны Российской Федерации. Аналитический доклад, <http://www.arctictoday.ru>.
- Фролов И. Е., Гудкович З. М., Карклин В. П., Ковалев Е. Г., Смоляницкий В. М., 2007.** Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа (в печати).
- Цыбань А. В., Иваница В. А., Худченко Г. В., Панов Г. В., Барина С. П., 1992а.** Таксономический состав гетеротрофных бактерий, в кн.: Исследование экосистем Берингова и Чукотского морей, СПб, Гидрометеиздат, с. 166–177.
- Цыбань А. В., Куликов А. С., Корсак М. Н. и др., 1992б.** Комплексная экологическая оценка со-

- стояния планктонного сообщества Берингова моря в июне 1981 г., в кн.: Исследование экосистем Берингова и Чукотского морей, вып. 3, СПб, Гидрометеиздат.
- Цыбань А. В., Кудрявцев В. М., Умбрумянц И. О., Родыгин Н. А., 2000.** Количественные аспекты развития микробных популяций и их распределение, в кн.: Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, М., Наука, с. 74–92.
- ACIA, Impacts of Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment, 2004.** Cambridge University Press, 139 p.
- Belchansky G. I., Douglas D. C., et al., 2005.** Variations in the Arctic's multiyear sea ice cover: A neural network analysis of SMMR-SSM/I data, 1979–2004, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 32, L09605.
- Climate Change 2007, 2007a.** The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/>.
- Climate Change 2007, 2007b.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., and Hanson C. E., eds., Cambridge, UK, Cambridge University Press, 976 p.
- Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006.** Draft HELCOM Thematic Assessment in 2006, HELCOM Stakeholder Conference on the Baltic Sea Action Plan, Helsinki, Finland, 7 March 2006.
- Cross W. E., 1997.** Under-ice biota the Pond Inlet ice edge and in adjacent fast ice areas during spring, *Arctic*, vol. 35, pp. 13–27.
- Eppley R. W., 1972.** Temperature and phytoplankton growth in the sea, *Fisheries Bulletin*, vol. 70, pp. 1063–1085.
- GIWA Regional Assessment 11, 2004.** Global International Waters Assessment Barents Sea, United Nations Environment Programme, University of Kalmar.
- Grabowski M., Jazdzewski K., and Konopacka A., 2007.** Alien Crustacea in Polish waters — *Amphipoda*, *Aquatic Invasions*, vol. 2, No. 1, pp. 25–38.
- Green R. E., Harley M., Spalding M., and Zockler C. (eds.), 1999.** Impacts of Climate Change on Wildlife, RSBP/UNEP WCMC Publication, 79 p.
- Hansson H. G., 2006.** Ctenophores of the Baltic and adjacent seas — the invader *Mnemiopsis* is here!, *Aquatic Invasions*, vol. 1, No. 4, pp. 295–298, <http://www.aquaticinvasions.ru>.
- Javidpour J., Sommer U., and Shiganova T., 2006.** First record of *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 in the Baltic Sea, *Aquatic Invasions*, vol. 1, No. 4, pp. 299–302, <http://www.aquaticinvasions.ru>.
- McLaren A. S., Bourke R. H., Walsh J. E., and Weaver R. L., 1994.** Variability in sea ice thickness over the North Pole from 1958 to 1992, in: *Polar Oceans and their Role in Shaping the Global Environment*, Johannessen O. M., Muench R. D., and Overland J. E. (eds.), Amer. Geophys. Union, pp. 363–371.
- NSIDC News, 2005.** Sea Ice Decline Intensifies, <http://nsidc.org>.
- Polar Marine Diatoms, 1990.** Medlin L. K. and Priddle J. (eds.), British Antarctic Survey, National Environmental Research Council.
- Rodionova N. V. and Panov V. E., 2006.** Establishment of the Ponto-Caspian predatory cladoceran *Evadne anonyx* in the eastern Gulf of Finland, Baltic Sea, *Aquatic Invasions*, vol. 1, iss. 1, pp. 7–12, <http://www.aquaticinvasions.ru>.
- Rothrock D. A. and Maykut Y. Y., 1999.** Thinning of the Arctic sea ice cover, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 26, No. 23, pp. 3469–3472.
- Shchuka T. A., 2005.** Certain aspects of the zooplankton community state in the different parts of the Baltic Sea at the end 1990s—beginning of the 2000s years, in: *The Baltic Changing Ecosystem*, Abstracts 5th Baltic Sea Science Congress, Sopot, Poland, p. 132.
- Shy T. L. and Walsh J. E., 1996.** North Pole ice thickness and association with ice ocean history 1977–1992, 1979–1986, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 23, pp. 2975–2978.
- Zubakin G. K., Naumov A. K., and Skutina Ye. A., 2005.** Icebergs of the western sector of the Russian Arctic, Proc. 18th Int. Conf. on Port and Ocean Eng. under Arctic Conditions, POAC-05, vol. 2, pp. 565–574.

### 2.9. ЮЖНЫЕ МОРЯ

**Ведущие авторы:** А. Г. Костяной, Ф. С. Терзиев  
**Авторы:** А. И. Гинзбург, Г. В. Заклинский, Ю. Г. Филиппов, С. А. Лебедев, Н. П. Незлин, Н. А. Шеремет  
**Редактор-рецензент:** А. Н. Косарев

#### 2.9.1. Вводные замечания

Южные моря России (Черное, Азовское, Каспийское) с районами их водосбора вследствие сво-

его географического положения и размеров занимают один или несколько климатических поясов и могут в большей или меньшей степени откликаться на изменения регионального климата (Гидрометеорология..., 1991а; Гидрометеорология..., 1992; Абузьяров, 2003; Терзиев, 2005). У каждого моря в его гидрометеорологическом режиме есть свои наиболее важные параметры, изменение которых оказывает существенное влияние на хозяйственную деятельность. К таким параметрам отно-