

#### 3.8. СЕВЕРНЫЕ МОРЯ

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

##### 3.8.1. Вводные замечания

В XXI веке в высоких широтах Северного полушария будет продолжаться потепление (Climate Change 2007, 2007). Однако на фоне этого потепления, вызванного глобальными факторами — антропогенными эмиссиями парниковых газов, можно ожидать существенных вековых колебаний температуры, вызванных естественными причинами. Такие колебания наблюдались в Арктике в XX веке (Алексеев, 2003; Алексеев, Иванов, 2003; Алексеев (ред.), 2004; Гудкович и др., 2005; Фролов и др., 2007; Makshatas et al., 2003). Сочетание глобального положительного тренда и региональных колебаний в XX веке привело к смене периодов потепления и похолодания, что может произойти и в XXI веке. Это обстоятельство необходимо учитывать при оценке влияния изменения климата в высоких широтах Северного полушария на условия плавания и другие виды экономической деятельности, а также на состояние биологических систем (Climate Change, 2007, 2007b). Для России важность этого усиливается тем, что на северных морях и их береговых зонах сосредоточены существенные запасы ресурсов, необходимых для устойчивого развития экономики страны (Филиппов, Жуков, 2004), а также наличием там чувствительных к изменению климата экосистем, уязвимых биологических видов.

##### 3.8.2. Экономика и морская деятельность в арктических регионах

###### 3.8.2.1. Ледовые условия на Северном морском пути

Облегчение ледовых условий на трассе Северного морского пути и по Северо-западному проходу вокруг северного побережья Канады в эпохи потепления всегда стимулирует внимание к возможному использованию этих транспортных путей для развития мировой экономики. Выражаются даже надежды на возможность плавания транспортных судов через район Северного полюса в XXI столетии (АСИА, 2004). Следует, однако, иметь в виду, что возрастающий доступ в Северный Ледовитый океан потребует, чтобы суда, предназначенные для прохода через регион, строились в соответствии с более высокими конструктивными стандартами по сравнению с судами,

используемыми в открытом океане. Международные и внутренние инструкции, предназначенные для повышения морской безопасности и защиты окружающей среды в арктических водах, потребуют учитывать, чтобы каждое морское судно в высокой степени обладало возможностью функционировать в ледовых условиях (Цой и др., 1998; Цой, Горшковский, 2002).

Северный морской путь является главной морской транспортной артерией для освоения природных ресурсов российской Арктики (Пересыпкин, 2002; Концепция развития Северного морского пути, 2003). Одновременно это кратчайший морской путь между североатлантическим и северотихоокеанским регионами Мирового океана, к которым примыкают промышленно развитые страны Европы, Северной Америки и Юго-Восточной Азии. Для изучения этих возможностей в 1993–1999 гг. выполнялась международная программа “Северный морской путь” — The International Northern Sea Route Programme (INSROP Programme..., 1999). Основной задачей программы было создание обширной базы знаний о покрываемых льдами судоходных путях от Новой Земли вдоль берегов Сибири до Берингова пролива.

Уменьшение ледовитости в некоторых районах Северного Ледовитого океана, по крайней мере в начале XXI века, может быть не только благом для судоходства. Например, последние изменения морского льда в Северо-западном проходе сделали его менее предсказуемым для судоходства вследствие увеличения межгодовой изменчивости (АСИА, 2004). При потеплении большее количество многолетнего льда и айсбергов могут попадать на морские пути Северо-западного прохода, создавая дополнительную опасность для навигации.

До 2015 г. продолжительность ледового периода на Северном морском пути от пролива Карские Ворота к востоку останется не менее шести месяцев в году. При этом сохранится вероятность формирования сложных и очень сложных ледовых условий в проливах Вилькицкого и Шокальского, а также в проливах Дмитрия Лаптева, Санникова и Лонга. Поэтому для безопасности мореплавания будут необходимы ледоколы и суда ледового класса, а также развитие систем гидрометеорологического обеспечения морских операций.

###### 3.8.2.2. Добыча полезных ископаемых

Условия освоения ресурсов на шельфе арктических морей весьма зависимы от климата. Это связано с воздействием гидрометеорологической обстановки — в том числе морского дрейфующего льда, обломков айсбергов, штормовых ветров и волнения — на добывающие сооружения и транс-

### 3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

портирующие средства. Возможные периоды потепления не уменьшат опасных гидрометеорологических воздействий, а лишь перераспределят степень опасности от разных факторов. Так, когда вероятность появления дрейфующих льдов уменьшается, возрастает вероятность увеличения высот ветровых волн и появления обломков айсбергов от деградирующих ледников на арктических островах.

Морской лед при утончении и сокращении сплоченности, вероятно, станет более динамичным во многих прибрежных регионах, где прежде существовали относительно стабильные условия, что необходимо также учитывать при хозяйственной деятельности.

При перспективном планировании добычи полезных ископаемых в Арктике следует иметь в виду, что в некоторых районах Северного Ледовитого океана ледовитость может увеличиваться. Так, в 2020–2030-х годах ожидается увеличение ледовитости в западных морях — Баренцевом и Карском (Стратегический прогноз на период..., 2006). В то же время именно в этих морях в этот период ожидается значительная интенсификация судоходства, связанная с масштабным освоением шельфа — добычей и транспортировкой углеводородов. Планируемое использование крупнотоннажных судов (танкеров) на фоне ухудшения ледовых условий плавания потребует использования соответствующих ледовых подкреплений их корпусов, повышенной мощности судовых энергетических установок. Вместе с тем сокращение периода безледокольного плавания (при увеличении объема грузоперевозок) потребует увеличения объема ледокольного обеспечения и, как следствие, количества и мощности ледокольного флота.

Отечественная и мировая экономика в XXI столетии будет нуждаться в природных ресурсах, сосредоточенных в Арктике и Субарктике. Трудности доставки для использования составляют одно из основных препятствий для их широкого освоения. Морской и отчасти речной (в Сибири) транспорт представляется наиболее эффективным путем решения этой проблемы. Другие виды транспорта (автомобильный, железнодорожный, трубопроводы) значительно сложнее использовать в условиях Крайнего Севера с его вечной мерзлотой, уязвимой природной средой, тектонической активностью (в Тихоокеанском регионе). Развивающееся строительство новых транспортных судов ледокольного типа значительно расширяет эффективность арктического судоходства.

Региональное, так же как и трансарктическое судоходство по Северному морскому пути, вероятно, получит выгоды от продолжающегося сокращения площади морского льда и удлинения сезонов навигации. Поскольку сокращение площади арктического

морского льда открывает некоторые ранее закрытые проходы, то, вероятно, встанут вопросы о суверенитете на маршруты судоходства и ресурсы морского дна (АСИА, 2004). В качестве возможных внешнеполитических проблем, которые России и другим арктическим государствам придется решать в XXI веке, усматриваются поиск и добыча энергоносителей и биоресурсов вне национальных границ, использование морских транспортных путей, делимитация континентального шельфа, состояние окружающей среды, применение морского права к арктическим районам и ряд других. Эти проблемы существуют и в настоящее время, однако климатический фактор может стать причиной их обострения, особенно в условиях глобализации, ограниченности невозобновляемых ресурсов, прежде всего энергетических.

С ростом доступности морских путей по прибрежным арктическим морям для судоходства национальные правительства будут призваны решать проблемы, связанные с улучшением помощи ледоколов и предсказания и картирования ледовых условий, усовершенствованием службы спасения в опасных ситуациях, повышением эффективности очищения льда от нефти.

#### 3.8.3. Биологические системы северных морей

##### 3.8.3.1. Балтийское море

Ожидается, что в XXI веке температура воздуха в приповерхностном слое атмосферы в бассейне Балтийского моря будет продолжать повышаться относительно современного уровня (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006); перспективные оценки, основанные на региональных моделях, указывают на то, что увеличение средней температуры составит от 3 до 5°C во всем бассейне в течение столетия. В большей степени потепление проявится в восточной и северной частях Балтийского моря в зимние месяцы и в южной части моря — в летние. К концу XXI века это может привести к удлинению вегетационного периода на 20–50 суток в северных районах и на 30–90 суток в южных.

Ожидается, что средняя температура поверхности Балтийского моря также увеличится, что приведет к значительному уменьшению площади морского льда в течение зимы. Наиболее выражены эти уменьшения будут в Финском, Рижском и Ботническом заливах и во внешней части юго-западного архипелага у побережья Финляндии. Длительность ледового сезона уменьшится до 1–2 месяцев в северной части Балтийского моря и до 2–3 месяцев в центральной.

Ожидаются также изменения количества осадков как в сезонном, так и в географическом их распределении. В частности, произойдет увеличе-

### 3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

ние годовой суммы осадков. Оно будет наибольшим в северной части бассейна Балтийского моря. В сезонном аспекте зимние осадки увеличатся в большей степени, чем летние. В региональном аспекте в южных районах осадки увеличатся в меньшей степени, чем в северных, особенно летом. Изменение количества осадков повлияет на речной сток в Балтийское море, который увеличится в северных районах в большей степени, чем в южных. Летний сток увеличится в меньшей степени, чем зимний. В соответствии с некоторыми региональными сценариями средняя соленость Балтийского моря будет уменьшаться (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Ожидается, что изменения температуры, водного баланса, циркуляции и солености, связанные с изменением климата, будут влиять на виды, обитающие в Балтийском море, их распределение и взаимосвязи, на экологические и биогеохимические процессы.

Биогеохимический цикл неорганического азота состоит из комплекса процессов, в которых участвуют бактерии. Эти процессы происходят, главным образом, в донных осадках. В биогеохимическом цикле серы также существенно участвуют бактерии. В бескислородных условиях бактериальное сульфатредуцирование приводит к утилизации органических компонентов и образованию высокорастворимого токсичного сероводорода, широко распространенного в анаэробных донных осадках Балтийского моря. Ожидаемое потепление будет стимулировать метаболизм бактерий при условии, что другие факторы, такие как наличие субстрата и доступность кислорода, неограничены. Увеличение активности бактерий приведет к усилению минерализации в поверхностных водах, так что седиментация органического вещества может уменьшиться.

Предполагаемое в XXI веке изменение климата в бассейне Балтийского моря, вероятно, будет оказывать влияние на видовой состав и биомассу фитопланктона, но оно не будет однозначным. Потепление напрямую ингибирует холодноводные виды, главным образом развивающиеся весной диатомовые водоросли, но усиливает развитие тепловодных видов, таких как формирующие “цветение” токсические цианобактерии (*Nodularia spumigena*). Новые виды, пришедшие из теплых морей, могут утвердиться и вытеснить коренные виды. Уменьшение ледового покрова и ранняя стабилизация водного столба весной могут обусловить более раннее начало весеннего цветения.

Более устойчивая вертикальная стратификация водного столба может уменьшить процессы вертикального переноса и отрицательно повлиять на виды, нуждающиеся в хорошо перемешиваемой воде. Цианобактерии будут иметь преимущество в

этой ситуации. Тем не менее уменьшение конвективного перемешивания, обусловленное потеплением, может быть компенсировано увеличением турбулентного перемешивания вследствие возможного усиления ветра и уменьшения ледового покрова. Это может способствовать развитию диатомовых, но разрушить поверхностные скопления цианобактерий. Изменения во времени “цветения” и видовом составе фитопланктона могут разрушить существующую пищевую цепь и спровоцировать изменения на более высоких трофических уровнях (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Повышение температуры в поверхностном слое Балтийского моря может привести к ослаблению весеннего и осеннего конвективного перемешивания, воздействуя, таким образом, на распределение пищевых элементов в фотической зоне. Изменение речного стока может привести к изменению поступления пищевых элементов с водосбора. Увеличение температуры воды может также увеличить бактериальную активность, которая может воздействовать на круговорот пищевых элементов и минерализацию в поверхностных водах. Эти изменения могут иметь влияние на состав видов фитопланктона и первичную продукцию, что имеет огромную важность для экосистемы Балтийского моря. Как показано выше, потепление может ингибировать холодноводные виды (особенно некоторые диатомовые), но усиливать тепловодные, такие как токсические цианобактерии. Уменьшение ледового покрова и более ранняя стабилизация водного столба весной могут также быть причиной более раннего весеннего “цветения”. Временные изменения “цветения” и состава видов могут также нарушить существующие пищевые сети, провоцируя изменения на более высоких трофических уровнях.

Возможные изменения солености могут оказывать прямое влияние на состав и распределение видов в Балтийском море, особенно зоопланктона и зообентоса. Виды зоопланктона в свою очередь влияют на своих хищников — планктоноядных рыб, таких как сельдь и шпрот, определяя их рост и кондицию. Потенциальное климатообусловленное уменьшение солености может также увеличить район окисленных донных осадков и таким образом увеличить ареал, пригодный для колонизации зообентосом, а также повлиять на его видовой состав.

Ожидаемое повышение температуры воды, вероятно, скажется на выживаемости мезозоопланктона в зимнее время и его росте и размножении летом. В целом можно предположить, что по мере развития климатических изменений роль более мелкого мезозоопланктона (простейшие, кладоцеры, коловратки, мелкие копеподы эстуариев) будет возрастать в пелагической пищевой цепи. Эти

### 3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

группы — представители “микробной петли” в структуре морской экосистемы — функционируют как альтернатива пастбищной цепи, представленной большими неритическими копеподами. Микробная петля быстро регенерирует биогены в стратифицированном поверхностном слое, где находятся важные первичные продуценты. Пищевая цепь заканчивается желетелыми (медузами и гребневиками). Напротив, в пастбищной пищевой цепи копеподы переносят пищевые вещества от первичных продуцентов, диатомовых, в нестратифицированной водной среде к пелагическим рыбам и другим высшим хищникам (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006). В 1998 г. коловратки доминировали в летнем зоопланктоне, составляя до 96% общей численности и 82% общей биомассы зоопланктона (Исследование экосистемы Балтийского моря, 2005). Таким образом, с развитием климатических изменений важность пастбищной пищевой цепи, по-видимому, будет уменьшаться. Уменьшение численности неритических копепод повлечет изменения планктоноядных рыб, что будет более заметно в северной открытой части моря, особенно в Финском и Рижском заливах (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Воздействие потепления на морских млекопитающих Балтийского моря скажется главным образом через значительное сокращение ледового покрова, что повлияет на тюленей, размножающихся на льду, в первую очередь на кольчатых нерп и серых тюленей. С другой стороны, увеличение температуры может быть благоприятным фактором для обыкновенных тюленей и морских свинок.

Для кольчатых нерп наиболее важным параметром климата является число ледовых дней. Ожидается, что ледовый покров будет существенно уменьшаться в районах размножения нерп, так что в 2071–2100 гг. в южных районах для воспроизводства нерп останется только 18–48 ледовых дней. В более северных районах Ботнического залива среднее число ледовых дней составит около 4 месяцев и все еще будет превосходить современную продолжительность ледового покрова в южных районах воспроизводства. Таким образом, ареал кольчатых нерп уменьшится и сдвинется севернее с возможным исчезновением популяций, размножающихся в Финском, Рижском заливах и на архипелаге у побережья Финляндии.

Несмотря на то, что балтийская популяция серых тюленей имеет возможность перехода на наземное воспроизводство, трудно оценить, как климатические изменения повлияют на численность и распространение вида. Есть факты, свидетельствующие о повышенной смертности щенков у тюленей, размножающихся на земле. Кроме того, поскольку количество пригодных для раз-

множения мест ограничено, возможно повышение смертности при перенаселении. С другой стороны, в результате сокращения ледового покрова тюлени смогут кормиться в районах, покрытых льдом при современных климатических условиях.

Ожидаемое повышение уровня моря и ветрового волнения может иметь влияние на распространение, места добывания пищи и воспроизводства серых и обыкновенных тюленей. Даже достаточно малое изменение уровня моря может превратить многие места охоты и размножения в непригодные, поскольку обычно — это очень низкие шхеры и рифы.

Повышение температуры поверхности воды и сокращение площади ледового покрова могут оказаться благоприятными для морских свинок и обыкновенных тюленей. Однако неизвестно, увеличат ли при этом эти виды область своего распространения — другие, не климатические факторы могут иметь большее значение (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Морские птицы, мигрирующие и зимующие на Балтике, могут быть больше всего подвержены влиянию потепления — они смогут зимовать севернее, чем сейчас.

#### 3.8.3.2. Чукотское и Берингово моря

Ожидаемое потепление климата в регионе Чукотского моря и сопровождающие его процессы — изменение температуры поверхностного слоя воды, продление сезона вегетации фитопланктона, таяние слоя мерзлоты весной, увеличение речного стока, размыв береговой линии — в конечном итоге будут способствовать поступлению в море дополнительной органики и активизации развития гетеротрофной сапрофитной микрофлоры. Возможны мутации в условно-патогенные формы.

В условиях ожидаемого дальнейшего потепления климата в XXI веке смещение границы льдов к северу и увеличение площади открытых вод на шельфе может повлечь за собой изменение распределения атмосферных выпадений загрязняющих веществ и вызвать их накопление в водах, а следовательно, и в экосистемах прибрежных и шельфовых районов Чукотского моря. Возможно, что в условиях роста загрязнения и биоаккумуляции загрязняющих веществ их концентрации (например, гексахлорциклогексана, полихлорбифенилов) в тканях и жировых отложениях морских рыб, белых медведей, китов и моржей могут заметно возрасти.

Оценка влияния возможного изменения температуры на важные характеристики экосистемы Берингова моря была получена в серии численных модельных экспериментов. Результаты расчетов показали, что в случае увеличения температуры в

### 3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

верхнем квазиоднородном слое воды на 1, 2 и 4°C происходит увеличение первичной продукции органического вещества на 1, 2,6 и 4,6% соответственно. При этом бактериальная деструкция органического вещества увеличивается соответственно на 2, 4 и 7%. Эти различия в изменениях интенсивности процессов первичного продуцирования и деструкции органического вещества при заданном изменении температуры приведут к изменению структуры пищевой цепи планктонных организмов. Изменение биомассы планктона наиболее существенным окажется для зоопланктона — увеличение на 2–4% при повышении температуры на 2–4°C. В условиях повышения температуры на 2–4°C концентрация нитратов понизится на 1–2%, при этом содержание аммония увеличится на 1–1,6% (эти показатели соответствуют увеличению температуры в теплый период года) (Исследование экосистемы Берингова моря, 1983).

#### 3.8.4. Литература

- 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.
- 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.
- Исследование экосистемы Балтийского моря, 2005.** Под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, СПб, Гидрометеиздат, 324 с.
- Исследование экосистемы Берингова моря, 1983.** Под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, Л., Гидрометеиздат, 157 с.
- Концепция развития Северного морского пути, 2003.** Проект Министерства транспорта РФ, 20 мая 2003 г., М., Администрация СМП, ЦНИИиП МФ.
- Пересыпкин В. И., 2002.** Северный морской путь: состояние и перспективы развития, Доклады научно-практического совещания “Гидрометеорологическое обеспечение хозяйственной деятельности в Арктике и замерзающих морях”, 27–29 марта 2002 г., СПб, с. 71–78.
- Стратегический прогноз на период до 2010–2015 годов о влиянии ожидаемых изменений климата на отрасли экономики России и их проявлении в отдельных регионах страны (доклад Правительству Российской Федерации), 2005.** М., Росгидромет.
- 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).
- Цой Л. Г., Караванов С. Б., Глебо Ю. В., Морейнис Ф. А., Высоцкая Н. А., 1998.** Требования к проектированию будущих судов для СМП, Международная программа INSROP, Проект I.1.4, Подпрограмма I, Природные условия и ледовая навигация, СПб, ЦНИИМФ.
- Цой Л. Г., Горшковский А. Г., 2002.** Ледокольный флот России нуждается в обновлении, Морской вестник, № 4 (4).
- ACIA, 2004.** Impacts of Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press.
- Climate Change 2007, 2007a.** The Physical Science Basic. 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, Adaptations 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 University Press, Cambridge, 879 p.
- Climate Change 2007, 2007c.** Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Metz B., Davidson O. R., Bosch P. R., Dave R. and Meyer L. A., eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 841 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.
- INSROP Programme Report 1993–1998, 1999.** Summary and Statistics of all INSROP Products and Activities, The International Northern Sea Route Programme, March 1999, ISBN 82-7613-358-4, <http://www.fni.no/insrop>.
- Makshatas A., Shoutilin S., and Andreas E., 2003.** Possible dynamic and thermal causes for the recent decrease in sea ice in the Arctic, J. Geophys. Res., vol. 108, pp. 25-1–25-13.