

Глава 7. Возможные последствия климатических изменений в Арктике

7.1. Введение

Арктика занимает особое место в климатической системе, оказывая влияние на происходящие глобальные изменения.

Продолжающееся повышение температуры земной тропосферы имеют глобальный характер, планетарные последствия и ведет к росту уровня Мирового океана, в том числе за счет таяния полярных ледников, что создает угрозы для прибрежных зон нашей планеты.

Таяние вечной мерзлоты, значимо выраженное в ряде крупных областей Арктики, является потенциальным источником метана и, следовательно, фактором усиления парникового эффекта в планетарном масштабе. Одновременно полярные океаны поглощают двуокись углерода, что способствует снижению темпов накопления парниковых газов в атмосфере.

В высоких широтах находятся движущие механизмы глобальной термохалинной циркуляции, которая влияет на региональные климатические изменения вне полярных областей.

В то же время глобальные изменения и их последствия наиболее выражены в полярных областях, и особенно в Арктике. Это проявляется в росте температуры воздуха, в изменениях термохалинной структуры полярных океанов, сокращении площади морских льдов, деградации вечной мерзлоты и ледников, в ускоренном разрушении льдистых берегов арктических морей, в экосистемных изменениях. Отмечается рост числа неблагоприятных погодных явлений. Результаты моделирования климата показывают высокую вероятность развития и усиления этих явлений в будущем.

7.2 Современный климат Арктики и его возможные изменения

Изменения климата Арктики составляют одно из актуальнейших и дискуссионных направлений современных климатических исследований. В них видное место занимает судьба морского ледяного покрова в Северном Ледовитом океане, вечной мерзлоты и ледников на арктической суше, поскольку криосфера, частью которой они являются, особенно остро реагирует на изменения климата и может как ускорить, так и замедлить их развитие.

Потепление в Арктике, происходящее в конце XX - начале XXI столетия, и его связь с глобальными изменениями привлекают особое внимание ученых, руководителей приарктических государств и крупных добывающих компаний. Это потепление климата, начавшееся в конце 1980-х годов, в последние годы значительно усилилось. Площадь морского арктического льда в конце летнего периода, постепенно сокращающаяся с начала наблюдений со спутников в 1979 г., в 2005 г. достигла абсолютного минимума (рисунок 7.1).

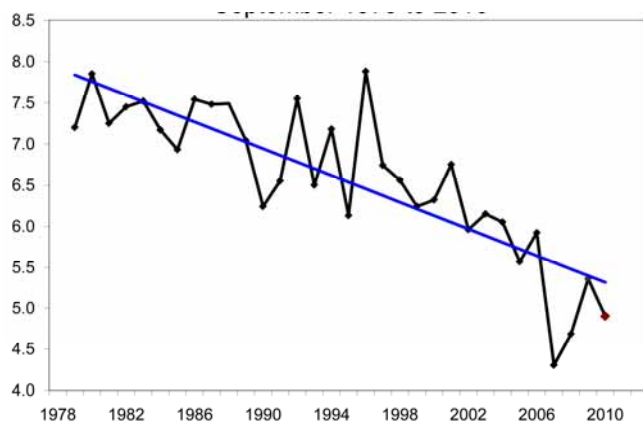


Рисунок 7.1 - Площадь распространения (млн. кв. км) арктического морского льда в сентябре 1979-2010 гг. (по данным сайта <http://nsidc.org/>)

Однако распределение льда в сентябре в годы, когда отмечался минимум его протяженности, показывает (рисунок 7.2), что наиболее высокоширотная часть Северного морского пути — пролив Вилькицкого — была закрыта льдами за исключением 2005 года. Этот участок трассы Северного морского пути (СМП) проходит в высоких широтах и может

блокироваться ледовыми массивами, смещающимися под действием ветра в южном направлении в морях Карском и Лаптевых с вероятностью до 20 %.

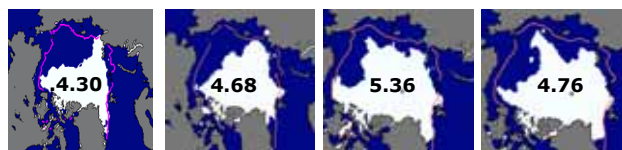


Рисунок 7.2 - Площадь, занятая морским льдом в Арктике в сентябре, млн. кв. км, в 2007-2010 гг. (по данным сайта <http://nsidc.org/> Национального центра снега и льда, США (NSIDC)) Цветная линия — средняя граница льда в сентябре за 1979-2000 гг.

Около 29 % площади арктических морей в зимний период 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. км². 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. км², что составляет всего 3 % от средней площади. В целом межгодовые колебания площади распространения припая и его толщины не показывают значимых трендов к уменьшению, что подтверждает меньшую чувствительность зимнего нарастания льда к изменениям температуры воздуха [3].

Значительно меньше данных имеется о толщине дрейфующих льдов. Анализ сведений о распределении осадки льда в Арктическом бассейне, собранных подводными лодками США и Британии, показал, в частности, уменьшение средней толщины льдов примерно на 42 % (с 3.1 до 1.8 м) с 1958-76 по 1993-99 гг. [4], а общий объем сократился почти на 32 % [5]. Однако эти оценки получены при

неполном покрытии измерениями акватории Арктического бассейна, поэтому остаются сомнения в их репрезентативности из-за возможных перемещений массива многолетнего льда из области наблюдений [6].

Колебания площади распространения льдов в арктических морях в течение XX и в начале XXI века происходили на фоне отрицательного тренда, при этом сокращение площади в тридцатилетие (1924-1955) и в последние три десятилетия (1979-2003) близки между собой (рисунок 7.3).

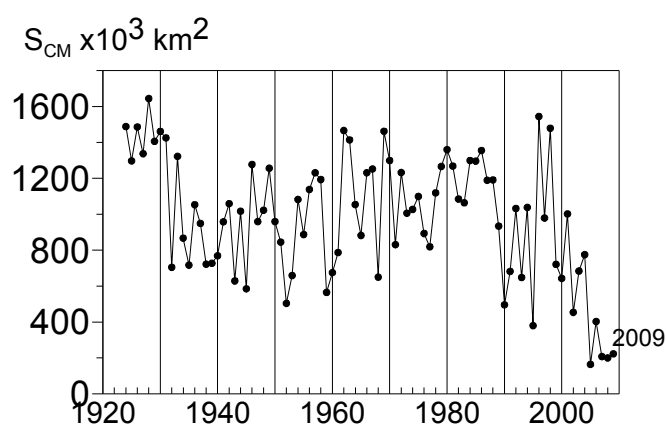


Рисунок 4.3 - Площадь распространения льда в Сибирских арктических морях в сентябре 1924-2009 гг. (по данным ААНИИ)

В долговременных изменениях площади, занимаемой льдами в арктических морях, проявляются циклические колебания продолжительностью около 60 лет. Причем их вклад в изменчивость превышает вклад тренда в целом за период наблюдений и достигает 23 % для Сибирских арктических морей.

Простая экстраполяция этого циклического колебания, имеющего, по-видимому, естественное происхождение, на последующие десятилетия предполагает возвращение в 2020-х годах к более суровым ледовым условиям по сравнению с современными. Однако быстрое сокращение летней площади льдов в последние пять лет и расчеты по глобальным моделям климата с учетом антропогенного воздействия являются, по мнению многих специалистов, заслуживающим внимания указанием на

предстоящее к середине XXI столетия летнее отступление морского льда за пределы арктических морей. Расчеты на конец столетия проецируют почти полное исчезновение льда в конце летнего сезона (рисунок 7.4).

Возможно, ближе всего к действительности будет суперпозиция циклонических (естественных) и нарастающих антропогенных изменений температуры (рис. 7.5).

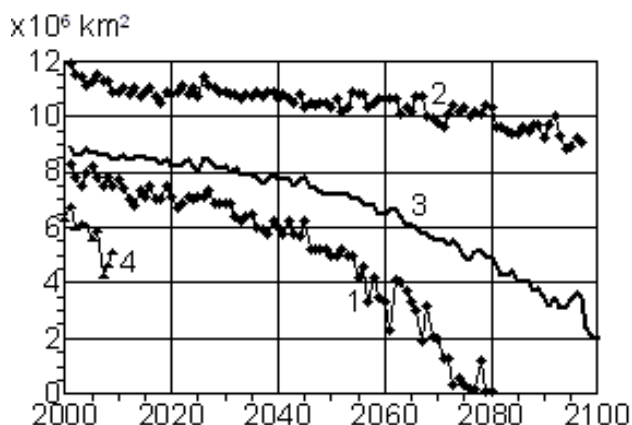


Рисунок 7.5. Сентябрьская площадь льдов в Арктике по ансамблю модельных расчетов СМIP3: 1, 2 - крайние реализации из ансамбля, 3 - среднее по 16 реализациям и 4 - по данным наблюдений за 2000 - 2009 гг. (Из Алексеев., Радионов, Александров и др. 2010)

Наблюдаемые в XXI веке сокращения летней площади льдов опережают расчетные, полученные по большой совокупности моделей (рси...). Все это оставляет весьма актуальными продолжение мониторинга арктического морского льда и дальнейшие исследования, направленные на развитие моделирования, особенно в свете растущего природопользования на шельфе арктических морей и использования СМП.

Приток атлантической воды (АВ) в Арктику составляет необходимую составляющую в формировании глобального океанического конвейера. Эта вода распространяется по акватории Норвежского, Гренландского и Баренцева морей и проникает в Арктический бассейн, где занимает

подповерхностный слой на глубинах от 50 до 800 метров [10-13].

Атлантическая вода является важным источником тепла в приатлантическом

секторе Арктики и источником соли для арктических вод, подвергающихся постоянному распресняющему воздействию.

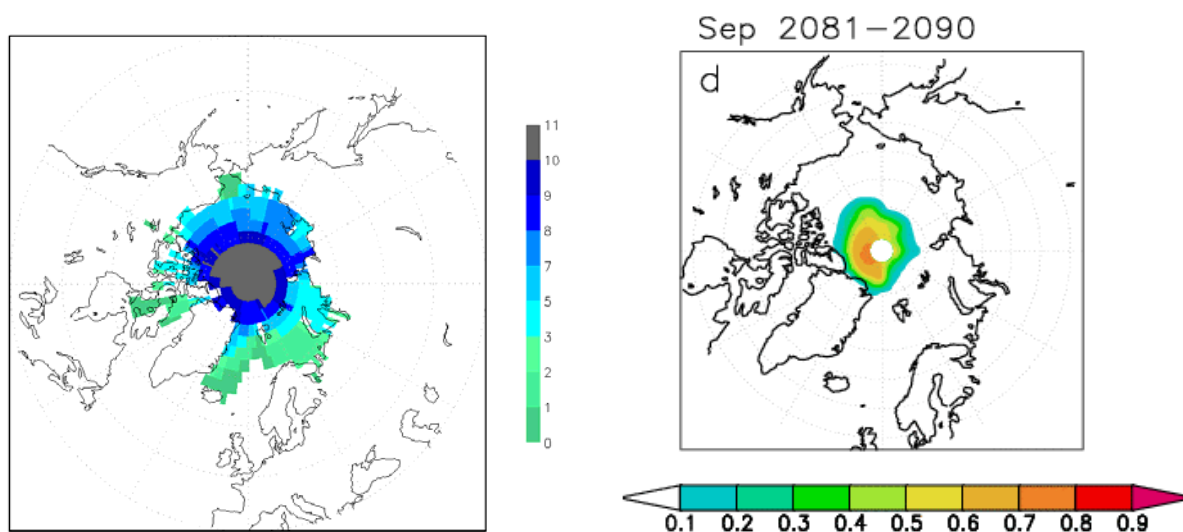


Рисунок 7.4 - Распределение арктического морского льда Слева: распределение арктического морского льда в сентябре 2040-2059 гг. в расчетах по 11 глобальным моделям климата. Различными цветами показано количество моделей, в которых получен лед, сплоченность которого превышает 15% [7]. Справа: то же по расчетам на модели ECHAM4 на 2081-2090 гг. [8].

Ее присутствие стимулирует развитие перемешивания, включая глубокую конвекцию, формирование новых водных масс и рост биопродуктивности верхнего перемешанного слоя на акватории Норвежского, Гренландского и Баренцева морей.

Постоянный приток тепла от слоя атлантической воды в верхний слой Арктического бассейна ограничивает зимнее нарастание льда. В этой связи приток атлантической является важным климатообразующим процессом в арктической климатической системе, а его изменения оказывают влияние не только на климат в Арктике, но и за ее пределами.

В докладе Межправительственной группы экспертов по климату [14] отмечается, что средняя температура воздуха у поверхности Северного полушария в последнее десятилетие достигла значений, не наблюдавшихся на протяжении последней тысячи лет. Однако среди ученых нет единого мнения по поводу точности подобной оценки [15]. Еще большие

неопределенности в оценке изменений климата Арктики, проистекающей из недостаточного количества климатических данных и сложных обратных связей. В частности, данные наблюдений не подтверждают долговременного усиления потепления в Арктике, где тренд на увеличение средней температуры воздуха на протяжении XX столетия не превышает аналогичный показатель для Северного полушария в целом. Однако колебания относительно тренда в Арктике намного сильнее, чем для Северного полушария в целом, и показывают сильное потепление в 1920-40-х годах, сопоставимое с современным потеплением (рисунок 7.6).

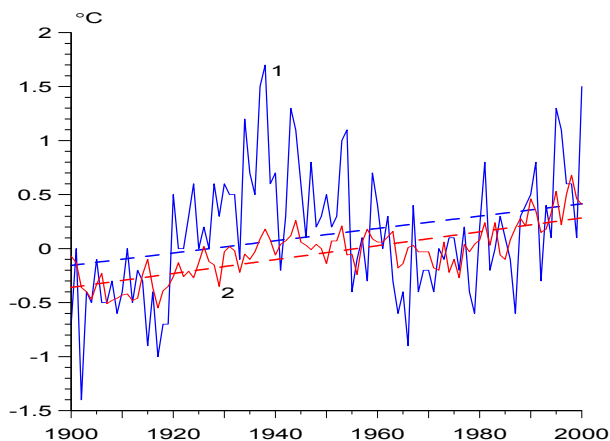


Рисунок 7.6 - Аномалии средней приповерхностной температуры воздуха в области севернее 62° с.ш.[16] и на северном полушарии [17]

Два потепления, похолодание между ними и предшествующий холодный период составляют цикл длительностью около 60 лет, который рассматривается как часть естественного низкочастотного колебания [16,18,19]. На его долю приходится 37 % суммарной изменчивости, в то время как на долю линейного тренда – 11 % и на долю остатка, соответственно, - 52 % . При этом

наибольший вклад в формирование колебания вносит приатлантический сектор 0 – 90° з.д. [3].

На акватории российских арктических морей после потепления 1930-40-х годов до середины 1960-х годов температура воздуха понижалась. В последующем происходило ее повышение с усилением роста с запада на восток (рисунок 7.7).

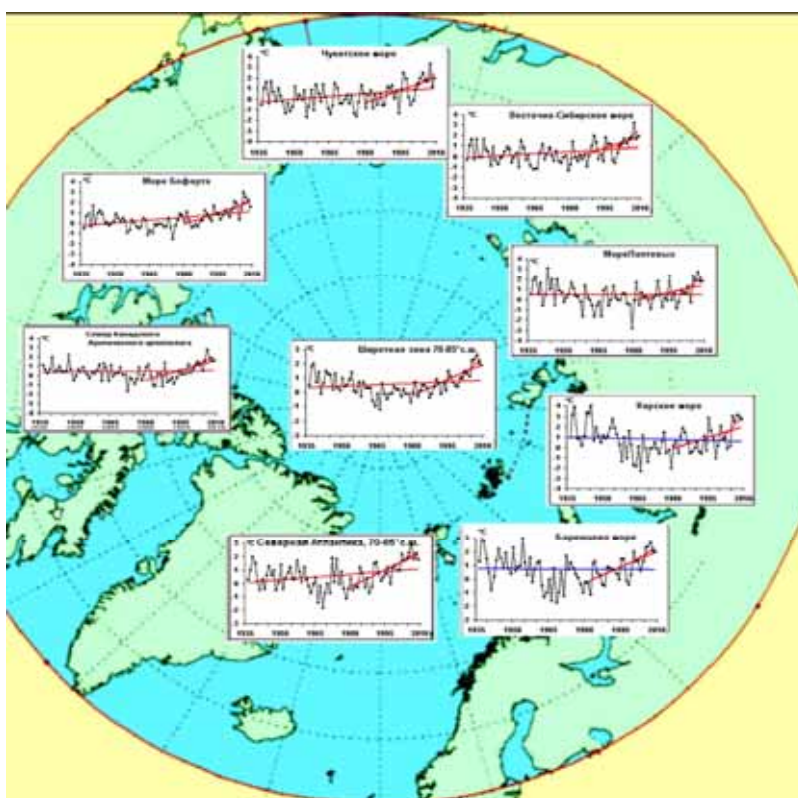


Рисунок 7.7 – Аномалии среднегодовой температуры воздуха в районах арктических морей за период 1936-2009 гг. относительно 1961-1990 гг.

В 2005 г. по всем морям отмечены значительные положительные аномалии температуры воздуха и самые крупные из

них в Баренцевом и Карском морях. Однако наиболее крупные положительные аномалии в этих морях и в море Лаптевых

отмечены в 1930-1940-х годах, а восточных морях - после 1990 года.

Расчеты будущего климата Арктики с помощью ансамбля современных глобальных климатических моделей с учетом роста концентрации парниковых газов в атмосфере показывают продолжение потепления и значительный рост температуры воздуха в зимний период к середине XXI столетия (рисунок 7.8). При

этом отмечается, что сильная естественная изменчивость климата Арктики может, как усилить, так и ослабить антропогенное потепление. В то же время различия в будущих сценариях антропогенных выбросов парниковых газов сказываются незначительно на оценках изменений климата в ближайшие десятилетия [8].

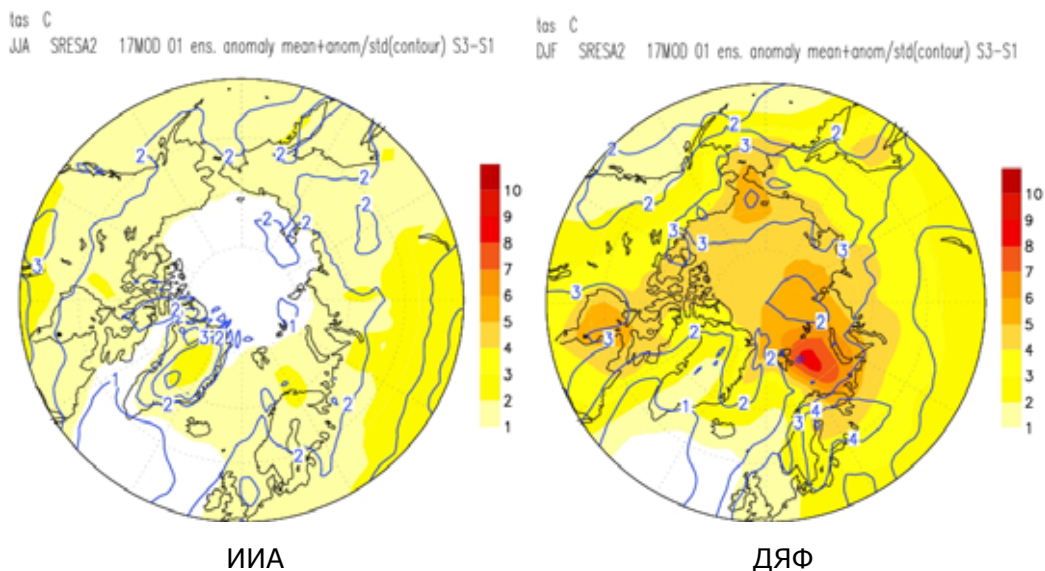
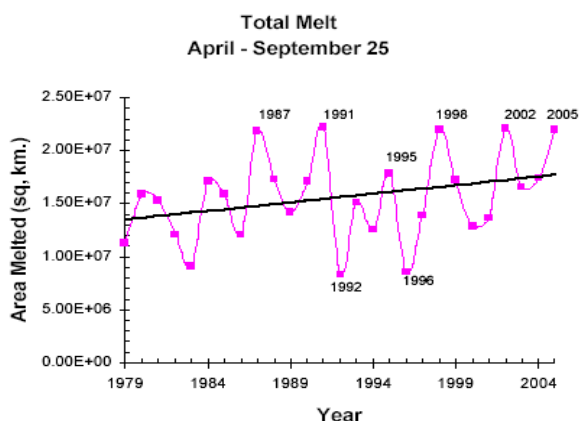


Рисунок 7.8 - Прогнозируемые по ансамблю глобальных климатических моделей изменения температуры (°C) в Северном полушарии в 2041-2060 гг. по отношению к периоду 1981-2000 гг. в летние (ИИА) и зимние (ДЯФ) месяцы [7]

Наблюдаемое потепление климата Арктики и особенно его возможное усиление в будущем ведет к деградации ледников и вечной мерзлоты на арктической суше. Крупнейший в Северном полушарии Гренландский ледник дважды подвергся в начале XXI века сильнейшему за 27-летний период наблюдений летнему таянию – в 2002 и 2005 гг. (см. рисунок 7.9).

Рисунок 7.9 – Площадь летнего таяния на леднике Гренландии [20]



В 2005 г. было отмечено в течение 7 дней таяние ледника во всей южной Гренландии, включая таяние в течение 3 дней на высоте 2900 метров, чего никогда за период наблюдений не отмечалось [20]. В тоже время во внутренней области ледника на высотах в среднем более 1500 м отмечен рост высоты поверхности ледникового щита за период с 1992 по 2003 гг., равный в среднем 6 см в год [8]. Установленное увеличение высоты ледника не обязательно продолжится в будущем, поскольку продолжительность наблюдений невелика, а естественная изменчивость влияющих факторов (атмосферная циркуляция, осадки) весьма велика. Поэтому очевидна необходимость продолжения мониторинга и моделирования для расчета баланса массы

Гренландского ледникового щита. В Российской Арктике ледники покрывают остров Новая Земля, архипелаги Земля Франца-Иосифа и Северная Земля. Их деградация вследствие потепления ведет к увеличению продукции айсбергов, которые под действием ветра и течений могут смещаться к югу в районы, где разворачиваются работы по разведке и добыче нефтеуглеводородов и проходит трасса СМП. Для оценки устойчивости ледников в условиях изменяющегося климата и прогноза айсберговой опасности необходимо продолжение исследований, проводившихся здесь до начала 1990-х годов. Повышение температуры воздуха в районах залегания вечной мерзлоты увеличивает глубину оттаивания грунта в летний период, а зимой уменьшает глубину его промерзания. Вследствие этого растет толщина активного слоя почвы и глубина залегания слоя вечной мерзлоты. Колебания толщины активного слоя (АСТ) почвы в бассейнах рек Обь, Енисей и Лена в XX столетии, определенные по измерениям (рисунок 7.10) и рассчитанные по индексу оттаивания (рисунок 7.11), показывают положительный тренд. По данным 17 станций в бассейне Лены АСТ увеличился на 0.32 м между 1956 и 1990 годом. По сравнению с оценкой по данным о температуре почвы, оценка по индексу и по результатам моделирования недооценивает АСТ. Обычно предполагается, что АСТ растет с глобальным потеплением. Однако эта гипотеза нуждается в дальнейшей проверке, поскольку АСТ реагирует в основном на летнюю температуру, тогда как наблюдаемое потепление отмечается, главным образом, зимой и весной. Кроме того, АСТ проявляет сложную и разную реакцию на колебания глубины снежного покрова.

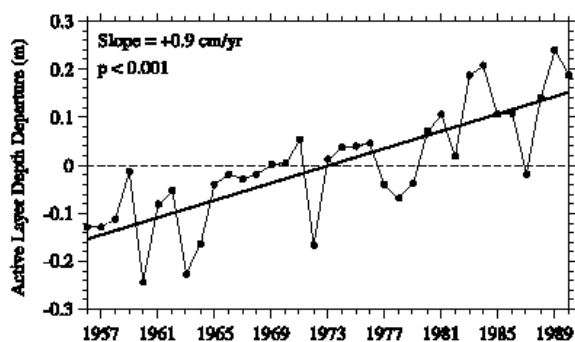


Рисунок 7.10 – Аномалии и тренд толщины активного слоя в бассейне реки Лены по данным измерений на 17 станциях. Толщина определялась по максимальной глубине изотермы 0 °С [21]

7.3. Влияние изменений климата на загрязнение АЗРФ

Климатические изменения окажут влияние на характер и объемы переносов загрязняющих веществ в водных системах и атмосфере. В частности, существенным для переносов ЗВ будут:

- увеличение количества атмосферных осадков в арктической зоне;
- усиление атмосферного меридионального обмена вследствие возрастания циклонической активности в средних и высоких широтах северного полушария;
- увеличение (до 20 %) стока арктических рек;
- увеличение продолжительности безледного периода в арктических морях;
- оттаивание вечной мерзлоты, более интенсивное разрушение берегов арктических морей;
- рост числа заторных явлений на р. Лена и других сибирских реках.

В целом указанные факторы будут способствовать некоторому увеличению объемов выносимых и выпадающих на поверхность загрязняющих веществ. Вклад в этот рост внесут возросший объем речного стока, увеличение атмосферных осадков и циклонические процессы в атмосфере. Также возможно более интенсивное загрязнение российских шельфовых морей вследствие увеличения

безледного периода. Как известно, морской лед, присутствующий на акваториях арктических морей более девяти месяцев, аккумулирует ЗВ, выпадающие в атмосфере и захваченные в поверхностном слое моря,

и далее выносят их в центральный арктический бассейн и далее к проливу Фрама, где они, залповым образом, попадают в морскую среду. Сокращение площади морского льда в

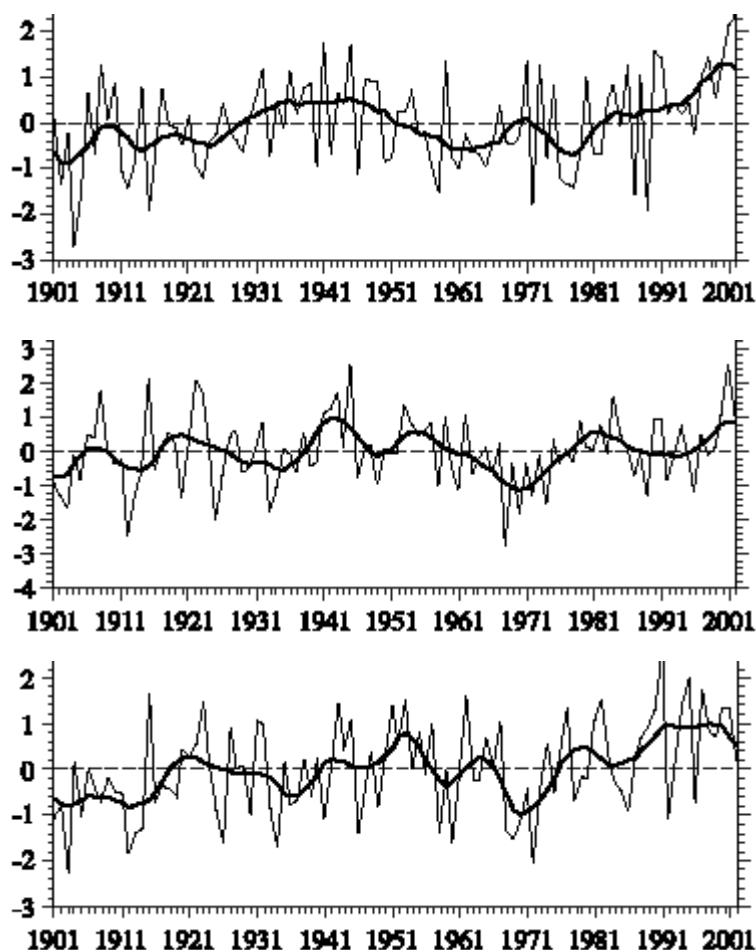


Рисунок 7.11 - Нормированные аномалии толщины активного слоя в бассейнах Лены, Енисея и Оби (сверху вниз), рассчитанные по индексу оттаивания.

Соответствующие средние значения и стандартные отклонения равны 1.69 и 0.055 м, 1.67 и 0.051 м, 1.87 и 0.076 м [21]

Арктике происходит, прежде всего, за счет арктических морей. Поэтому часть ЗВ, ранее выносимых в центральный бассейн, будет попадать в морскую среду на континентальном шельфе и далее, перемешиваясь, попадать в глубинные воды Северного Ледовитого океана.

Таким образом, в Северном Ледовитом океане произойдет изменение пространственного положения зон

«залповых» сбросов загрязняющих веществ от снежно-ледяного покрова в морскую среду. Следует также ожидать ухудшение качества питьевой воды вследствие оттаивания вечной мерзлоты, береговой эрозии и других изменений в природной среде.

7.4. Возможные социально-экономические последствия климатических изменений

Инфраструктура: объекты жилищно-коммунального хозяйства и промышленности, системы коммуникаций

Таяние вечномерзлых грунтов в Российской Арктике приводит к негативному воздействию на городскую и промышленную инфраструктуру [22-26], включая аэродромы, автомобильные и железные дороги и трубопроводы, вызывает значительные последствия в окружающей среде, экономике и социальной сфере [27, 28]

Многочисленные примеры разрушения жилых домов в Якутии и других районах Крайнего Севера (Якутск, Норильск, Воркута, Амдерма, Тикси) свидетельствуют о повышении риска для инфраструктуры и жизни людей. Повреждения линий нефте- и газопроводов в зоне вечной мерзлоты были зафиксированы в Ханты-Мансийском автономном округе. Таяние вечной мерзлоты может потребовать значительных восстановительных работ, т.е. больших инвестиций. Можно ожидать определенного нарушения снежно-ледовых дорог (зимников), что может вызвать транспортные проблемы. С другой стороны, наблюдается снижение объемов топлива, используемого для обогрева зданий, что является положительным эффектом наблюдаемых в последнее время изменений климата [22].

Промышленная добыча угля и минеральных ресурсов является важной составляющей экономики России. Перевозки угля и минеральных ресурсов, вероятно, будут испытывать как положительные, так и отрицательные воздействия от изменения климата. Шахты в Сибири, которые вывозят свою продукцию с помощью морского транспорта, очень вероятно, получат выгоду из-за сокращения морского льда и продления навигационного сезона. Предприятия горнодобывающей промышленности, которые используют транспортные дороги, проложенные по вечной мерзлоте, очень вероятно, будут нести более высокие затраты на обслуживание из-за таяния вечной

мерзлоты. Последствия для нефтяной и газовой промышленности, вероятно, будут аналогичными, с улучшением доступа по морю и более проблемным доступом по суше [29].

Оленеводство. Оленеводство для коренных народов является важным видом деятельности в этом регионе. Из-за более частых оттепелей происходит образование слоя льда на грунте, ограничивающего доступ северному оленю к лишайникам, находящимся под этим слоем. Мерзлая почва присутствует в большей части региона и, при разрушении слоя вечной мерзлоты, традиционные пути миграции северных оленей могут быть нарушены. Наблюдающееся в последние годы более раннее таяние и более позднее замерзание речного льда может приводить к разрыву традиционных путей миграции между зимними и летними пастбищами. Будущие изменения в распространении снежного покрова и его состояния могут вызвать серьезные неблагоприятные последствия для оленеводства, и для связанных с ним физических, социальных и культурных составляющих жизни оленеводов [29].

Обеспокоенность коренного населения Арктики, в частности, содержится в Якутской декларации Третьего всемирного конгресса оленеводов (17-20 марта 2005 г.). Было показано, что в «Программе оценки воздействий изменения климата в Арктике» (ACIA) традиционные знания оленеводов были интегрированы на равных условиях как классически естественные социальные науки. Арктические государства должны в будущем обеспечить участие оленеводов, использование их знаний и опыта в составлении таких документов Арктического Совета как AMAP, CAFF и новые инициативы ACIA.

Было отмечено, что потепление климата в Арктике, имеющее место сегодня, происходит намного быстрее, чем ожидалось и уже воздействует на оленеводство. В будущем потепление в Арктике также будет иметь воздействие на богатые ресурсы, здоровье животных и экономику сообществ коренных народов. Конгресс обратился с призывом к

национальным государствам использовать эффективные меры в вопросе адаптации к климатическим изменениям и вопросе развития новых стратегий менеджмента в Арктике, которые должны включать традиционные знания оленеводов.

Рыболовство. Воздействия на рыболовство в северных регионах трудно прогнозировать, поскольку здесь присутствует множество факторов помимо климатических, включая методы управления промыслами, рыночный спрос и цены, а также методы лова рыбы и технологий [29].

Лесная промышленность. В европейской части Российской Арктики нашествия насекомых, вредителей леса, вызванные более теплыми погодными условиями последних лет, нанесли определенный ущерб лесу и снизили качество древесины. В России сокращение лесной промышленности произошло из-за экономических факторов. Это, вероятно, будет усугубляться потеплением, которое в ближайшей перспективе будет отрицательно воздействовать на качество древесины через ущерб от насекомых, а также на инфраструктуру и зимние перевозки вследствие таяния грунта [29].

Лесные пожары. Пожары являются важным фактором, наносящим урон северному лесу с длительным экологическим воздействием. Прогностические оценки условий возникновения лесных пожаров в Сибири, показывают, что повышение температуры воздуха в летний сезон с 9,8 °C до 15,3 °C приведет к удвоению числа лет с сильными пожарами, к увеличению площади лесных пожарищ почти на 150 % в год и снижению запасов древесины на 10 %.

Сельское хозяйство. Климатические условия, сдерживающие развитие сельского хозяйства, включают в себя короткий сезон роста (недостаточный период для полного созревания урожая или для производства высоких урожаев способных созреть культур), недостаточное количество тепла (недостаточно теплые дни в течение сезона роста), длинные холодные зимы, которые ограничивают выживаемость многолетних культур. Согласно прогнозам, с прогрессом потепления возможности для сельского хозяйства возрастут [30-32].

Водные ресурсы. Переход к более влажному климату, вероятно, приведет к увеличению запаса водных ресурсов для людей, постоянно проживающих в регионе. В районах, свободных от вечной мерзлоты, уровень грунтовых вод, очень вероятно, поднимется ближе к поверхности, и большее количество влаги, по прогнозу, будет доступно для сельскохозяйственного производства. В весенние сезоны возросшие осадки и сток, очень вероятно, вызовут рост уровня воды в реках и увеличение риска наводнений. Более низкие уровни воды, согласно прогнозу, будут наблюдаться в летний период, что, вероятно, негативно повлияет на речную навигацию и гидроэнергетику и увеличит риск лесных пожаров [29].

Здоровье населения. Установлено значительное воздействие климатических и гелиогеофизических условий на уровень заболеваемости, поскольку большинство коренного населения метеочувствительно, а наблюдаемые изменения климата приводят к росту метеотропных реакций даже у здоровых лиц. При оценке воздействия климата на организм человека большое значение принадлежит изучению синоптической изменчивости атмосферных процессов. Для человеческого организма наиболее опасны резкие колебания основных метеорологических характеристик (температуры и влажности воздуха, атмосферного давления и осадков, скорости ветра и солнечной радиации), повторяемость которых заметно увеличивается в режиме потепления климата. Показано, что многие заболевания обостряются в периоды с резкими колебаниями метеопараметров.

За последнее десятилетие среди младенческого, детского и взрослого населения Российской Арктики наблюдается выраженный рост заболеваемости по всем основным классам болезней. Болезни органов кровообращения занимают первое место среди причин первичного выхода на инвалидность и смертности населения Крайнего Севера в трудоспособном возрасте. Экстремальные климатические факторы обуславливают условия для

прогрессивного развития сердечно-сосудистых заболеваний. В результате максимум заболеваемости и смертности от острого инфаркта на Севере приходится на 15 лет раньше, чем в средней полосе России. Стрессы и континентальный климат с резкими перепадами температуры и атмосферного давления – основные причины сосудистых заболеваний на Крайнем Севере [33,34]. Также увеличенные дозы ультрафиолетовой радиации из-за истощения озонового слоя могут приводить к росту заболевания катарактой и увеличивать риск рака кожи [29].

Изменение климата будет продолжать оказывать воздействие на здоровье человека в Арктике. Воздействия будут различаться от места к месту из-за региональных различий в изменении климата, также как и вследствие различного состояния здоровья и адаптационной способности у разных народностей. Сельские жители Арктики, проживающие в небольших, изолированных сообществах с неразвитой системой социальной поддержки, слабой инфраструктурой, с плохо развитой или несуществующей общественной системой здравоохранения являются наиболее уязвимыми. Сообщества, чье существование зависит от охоты и рыболовства, в особенности, использующие только малое число видов, окажутся уязвимыми к тем изменениям, которые тяжело отражаются на этих видах (например, сокращающийся морской лед и его воздействие на кольчатую нерпу и белого медведя). Возраст, образ жизни, пол, доступ к ресурсам и другие факторы влияют на индивидуальную и коллективную способности к адаптации. И историческая способность к переселению, как средству адаптации к изменяющимся климатическим условиям, снизилась, поскольку население перешло на оседлый образ жизни.

Существуют как неблагоприятные, так и благоприятные воздействия изменения климата на здоровье человека в Арктике. Прямые положительные воздействия могут включать сокращение повреждений, причиняемых холодом, таких, как обморожения и гипотермии, и сокращение

нагрузок холода. Показатели смертности выше зимой, чем летом, и более мягкие условия в зимний сезон в некоторых областях могут снизить количество смертных случаев в течение зимних месяцев. Однако соотношение между возросшим числом смертных случаев и условиями зимней погоды трудно интерпретировать, оно является более сложным, чем ассоциация между болезнью и смертью, связанная с высокой температурой. Например, много смертных случаев зимой происходит из-за респираторных инфекций типа гриппа, и неясно, как более высокие значения температуры зимой могли бы повлиять на распространение гриппа [29].

Прямые отрицательные воздействия, вероятно, будут включать рост тепловой нагрузки и числа несчастных случаев, связанных с необычными ледовыми и погодными условиями. Косвенные эффекты включают воздействия на рацион питания из-за изменений доступности и возможности использования пищевых источников, увеличения психологических и социальных нагрузок, связанных с изменениями в окружающей среде и образе жизни, с потенциальными изменениями в скорости развития бактерий и вирусов, с эпидемиями, вызываемыми нашествиями moskitov, с изменениями в доступе к питьевой воде хорошего качества, и с заболеваниями, возникающими из-за проблем системы санитарной очистки. Воздействие на здоровье могут также оказывать взаимодействия между загрязняющими веществами, ультрафиолетовой радиацией и изменением климата [29].

Коренные народы в некоторых частях циркумполярной области Севера сообщают о случаях воздействия стресса, связанного с экстремально высокими температурами, которые ранее не наблюдались. Воздействия включают трудности для дыхания, которые, в свою очередь, могут ограничить участие индивидуума в физической деятельности. Однако, меньшее количество холодных дней, связанное с трендом потепления во многих регионах в течение зимы, как подтверждают наблюдения, имеет

положительный эффект, позволяя людям больше время находиться зимой на воздухе, и облегчая нагрузку, связанную с чрезвычайным холодом.

Связанные с климатом изменения, происходящие с рыбой и с дикой природой, очень вероятно, приведут к существенным изменениям доступа и возможности использования традиционных пищевых ресурсов, что повлечет значительные воздействия на здоровье. Переход к более западному типу диеты, как известно, увеличивает риски появления рака, тучности, диабета, и сердечно-сосудистых болезней среди северного населения. Сокращение коммерчески важных видов, таких как, лосось, вероятно, создаст экономические трудности и проблемы для здоровья, связанные со снижением доходов в малых сообществах. Климатическая нагрузка и перемещение популяций животных также создают условия для распространения инфекционных болезней среди животных, которые могут передаваться людям, например, вирус Западного Нила [29].

Безопасная питьевая вода и надлежащая система очистки являются критически важными для поддержания здоровья человека. Инфраструктура санитарной очистки включает в себя системы обработки воды, ее распределения, сбора использованной воды, очистные и водоотводные сооружения, системы сбора и удаления твердых отходов. Таяние вечной мерзлоты, береговая эрозия и другие изменения, связанные с климатом, которые неблагоприятно воздействуют на качество питьевой воды, ограничивают эффективную поставку, или причиняют прямой ущерб объектам обслуживания, вероятно, могут стать причиной неблагоприятных воздействий на здоровье человека.

Рост случаев чрезвычайных явлений, таких как наводнения, шторма, каменные оползни и лавины, как можно ожидать, будет причиной увеличения ущерба и смертности. В дополнение к таким прямым воздействиям этих явлений, косвенные эффекты могут включать воздействия на доступность и сохранность питьевой воды. Явления интенсивных осадков могут также вызывать вспышки болезней, переносимых

москитами, наводнения, и, в зависимости от существующей водной инфраструктуры, загрязнение источников воды.

Психическое здоровье, также, вероятно, будет подвержено воздействиям, вследствие изменения климата в Арктике. Сокращение возможностей охоты для пропитания, лова рыбы, оленеводства и собирательства, вероятно, создаст психологические нагрузки из-за потери важных культурных видов деятельности. Наводнения, эрозия и таяние вечной мерзлоты, связанные с изменением климата, могут отрицательно влиять на среду обитания и инфраструктуру в поселках, и приводить к переселениям людей и разрушению сообществ с вытекающими психологическими воздействиями.

Литература

- 1 NSIDC News, 28 September 2005 / Sea Ice Decline Intensifies. - <http://nsidc.org>
- 2 Stroeve, J. C., M. C. Serreze, F. Fetterer, T. Arbetter, W. Meier, J. Maslanik, and K. Knowles. Tracking the Arctic's shrinking ice cover: Another extreme September minimum in 2004 // *Geophys. Res. Lett.* – 2005. – 32. – L04501, doi:10.1029/2004GL021810.
- 3 Алексеев Г.В. Исследования изменений климата Арктики в XX столетии // *Труды ААНИИ.* – 2003. – Т. 446. – С. 6-21.
- 4 Rothrock D.A., Yu Y., Maykut. Thinning of the Arctic Sea Ice Cover // *Geophysical Research Letters.* – 1999. - V. 26, No. 23. - P. 3469-3472.
- 5 Yu Y., G. A. Maykut, D. A. Rothrock. Changes in the thickness distribution of Arctic sea ice between 1958–1970 and 1993–1997 // *J. Geophys. Res.* – 2004. – V.109. - C08004.
- 6 Holloway Greg, Sou Tessa. Has Arctic Sea Ice Rapidly Thinned? // *Journal of Climate.* - 2002. – V. 15. – P. 1691-1701.
- 7 Катцов В.М., Г.В. Алексеев, Т.В.Павлова, В.А. Говоркова. Эволюция криосферы Земли в 20-м и 21-м веках в расчетах с моделями общей циркуляции атмосферы и океана нового поколения. Часть 1-я:

- Морской лед // Известия РАН: Физика атмосферы и океана (представлена в печать).
- 8 Johannessen O.M., L. Bengtsson, M.W. Miles, S.I. Kuzmina, V.A. Semenov, G.V. Alekseev, A.P. Nagurny, V.F. Zakharov, L.P. Bobylev, L.H. Pettersson, K. Hasselmann, H.P. Cattle. Arctic climate change: observed and modelled temperature and sea ice variability // *Tellus*. – 2004. – Vol. 56A(4). – P. 328-341.
- 9 Flato G.M. Sea-ice and its response to CO2 forcing as simulated by global climate models // *Climate Dynamics*. – 2004. – Vol. 23. – P. 229–241. DOI 10.1007/s00382-004-0436-7.
- 10 Тимофеев В.Т. Водные массы Арктического бассейна. – М.: Гидрометеиздат, 1960.
- 11 Трешников А.Ф., Баранов Г.И. Структура циркуляции вод Арктического бассейна. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1972.
- 12 Атлас Мирового океана. Т. 3. Северный Ледовитый океан. / Ред. Горшков В.Г. – М.: ГУГик, 1980. – 189 с.
- 13 Environmental Working Group (EWG), 1997, Joint U.S. Russian Atlas of the Arctic Ocean: Oceanography Atlas for the Winter Period, National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO (electronic access at <http://ns.noaa.gov/atlas>).
- 14 IPCC (2001) Climate Change // The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – New York, NY, USA, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001. – 881 p.
- 15 Hogan J. Warming debate highlights poor data // *Nature*. – 2005. – V. 436. – P.896.
- 16 Polyakov, R. Bekryaev, G. Alekseev, U. Bhatt, R. Colony, M. Johnson, A. Makshtas, D. Walsh. Variability and trends of air temperature and pressure in the Maritime Arctic, 1875-2000 // *Journal of Climate*. – 2003. – V.16(13). – P. 2067-2077.
- 17 Jones P.D., M. New et al., Surface air temperature and its changes over the past 150 years // *Review of Geophysics*. – 1999. – 37(2). – P.173-199
- 18 Polyakov I. V., M. A. Johnson. Arctic decadal and interdecadal variability // *Geophysical Research Letters*. – 2000. – V. 27(24). – P. 4097-4100.
- 19 Enfield D., A. M. Mestas-Nunez, P. J. Trimble. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. // *Geophysical Research Letters*. – 2001. – V. 28, N 10. – P. 2077-2080.
- 20 Steffen, Huff. NSIDC News, 28 September 2005 / Sea Ice Decline Intensifies. - <http://nsidc.org>
- 21 Zhang, T. et al. Spatial and temporal variability in active layer thickness over the Russian Arctic drainage basin // *J. Geophys. Res.* – 2005. – V.110. – D16101, doi:10.1029/2004JD005642.
- 22 Анисимов О.А. Воздействия антропогенных изменений климата на обогрев и кондиционирование воздуха зданий // *Метеорология и гидрология*. – 1999. – N 6. – С. 10-17.
- 23 Анисимов О.А., Белолуцкая М.А. Эффекты изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру Севера России // *Метеорология и гидрология*. – 2002. – N 9. – С. 15-22.
- 24 Garagulya L.S., G.I. Gordeeva, Khrustalev L.N. Zoning of the permafrost area by the impact of human-induced geocryological processes on environmental conditions // *Криосфера Земли*. – 1997. – N 1. – С. 30-38.
- 25 Khrustalev L.N. Problems of permafrost engineering as related to global climate warming. In: R. Paepe and V.P. Melnikov (eds.). NATO Advanced workshop on Permafrost Response on Economic Development, Environmental Security and Natural Resources, Novosibirsk, Russia, 2001. – P. 407-423.
- 26 Khrustalev, L.N., Nikiforov V.V. Permafrost Stabilization in the Construction Basements. Nauka, Novosibirsk. – 1990. – 353 p.
- 27 Khrustalev, L.N., Pustovoit G.P. Variation of geocryological conditions upon the global climate warming and the construction

stability in the permafrost zone // Геокриология. - 1993. - N 5.

28 Panova Y.V. Permafrost processes inducing disastrous effects in engineering constructions, Medvezhje gas-field, Western Siberia / In: M. Phillips, S.M. Springman and L.U. Arenson (eds.). Permafrost: Proceedings of the Eighth International Conference on Permafrost. - 2003. - P. 121-122.

29 Impacts of Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press. - 2004. - 139 p. (русский перевод «Воздействия потепления в Арктике», 2005).

30 Швецова В.М., Хмелинин И.Н., Безносиков В.А. и др. Повышение урожайности картофеля на Севере // Аграрная наука. - 2001. - № 11. - С.11-13.

31 Котелина Н.С., Рощевская Л.П. Изучение клеверов на Севере // Кормопроизводство. - 2002. - № 3. - С. 22-25.

32 Куренкова С.В., Табаленкова Г.Н., Головки Т.К. Физиолого-биохимическая характеристика ячменя при возделывании в условиях Севера // Здоровье. Питание. Биологические ресурсы: Матер. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 125-летию со дня рождения акад. Н.В. Рудницкого. В 2-х томах. - Киров, 2002. - Т. 1. Селекция, семеноводство. Земледелие. - С. 257-264.

33 Андронова Т.И., Деряпа Н.Р., Соломатин А.П. Гелиометеотропные реакции здорового и больного человека. - Л.: Медицина, 1982. - 223 с.

34 Устюшин Б.В., Голикова О.И., Шушкова Т.С., Татяшок Т.К., Раенгулов Б.М. Влияние климата Крайнего Севера и условия обучения на организм школьников младших классов // Гигиена и санитария. - 1997.- № 5. - С. 14-16.

35. Алексеев Г.В., В.Ф. Радионов, Е.И. Александров, Н.Е. Иванов, Н.Е. Харланенкова. Климатические изменения в Арктике и Северной полярной области. Проблемы Арктики и Антарктики, №1 (84), 2010. с. 67-80.

7.5. Возможные последствия климатических изменений для морских экосистем Арктики

Введение

При всей дискуссионности проблемы глобальных климатических изменений и неопределенности известных прогнозов относительно возможных последствий этих изменений есть основания согласиться с выводом о реальности уже начавшегося этапа потепления на Земле. Достаточно напомнить, что все 10 самых теплых лет, зарегистрированных за последние 140 лет регулярных наблюдений, приходятся на период с 1990 г. [Jones, Moberg, 2003; Shimmield, 2005].

В одном из последних докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [IPCC, 2001] отмечено, что:

- наиболее быстрые и резкие климатические изменения на Земле ожидаются в полярных регионах;
- в XX столетии здесь наблюдался тренд потепления, который на 5⁰С превышал среднее глобальное увеличение температуры;
- Арктика отличается чрезвычайно высокой чувствительностью к климатическим изменениям;
- все физические, экологические и экономические последствия этих изменений будут проявляться здесь особенно быстро.

Объем научной информации по проблеме глобальных климатических изменений в Мировом океане, в том числе в морях Арктики, достаточно внушителен и насчитывает многие сотни публикаций, включая исчерпывающие отчетные материалы Арктической программы мониторинга и оценки [AMAP, 1998; 2003]. Вместе с тем анализ этой информации показывает, что она посвящена в основном процессам физического и океанографического характера. В то же время возможные реакции и перестройки морских биологических ресурсов

(популяций промысловых рыб и беспозвоночных) в условиях *устойчивого потепления климата в Арктике* остаются до сих пор практически вне сферы специальных исследований, во всяком случае применительно к арктическим морям России. Большинство известных работ посвящено анализу связи природных циклических флуктуаций климата и рыбопродуктивности морей [Павлов, 1994; Beamish, 1995; Боровков и др., 2000; Матишов, 2000; Пономаренко, Зеленков, 2000; Матишов и др., 2001; Кляшторин, Любушкин, 2003; Радченко, 2003].

В данной работе предпринята попытка оценить возможное влияние антропогенных изменений климата на биологические ресурсы (в основном рыбные запасы) морей Российской Арктики. В силу чрезвычайной сложности и многофакторности такого рода процессов речь будет идти не о каких-либо строгих количественных расчетах и математическом моделировании, а лишь о выявлении тенденций (трендов) возможного изменения структуры и численности промысловых популяций, связанных с повышением температуры, подъемом уровня арктических морей и усилением ультрафиолетовой солнечной радиации. При решении этой задачи будут использованы накопленные массивы данных о состоянии морских биоресурсов Арктики и Субарктики (запасы, видовой состав, уловы и др.) и их долговременной изменчивости под влиянием естественной цикличности климатических процессов.

7.5.1. Глобальные климатические воздействия и их экологические последствия в морях Арктики

Морские экосистемы Арктики и Субарктики характеризуются относительно широкими шельфами, присутствием паковых льдов, мощным речным стоком, сильными сезонными изменениями абиотических условий (особенно температуры) и широкими

диапазонами флуктуаций основных показателей биопродуцирования.

сообществ и биоресурсов высоких широт надо назвать прежде всего изменения климата, которые прямо и сильно влияют на общий океанологический режим морей, особенно на термические условия, ледовый покров, циркуляцию водных масс и другие ключевые параметры состояния морской среды.

Сценарии и параметры изменения климата в Арктике

Общее представление о сложности и многофакторности климатических воздействий на морские экосистемы и биоресурсы Арктики можно получить по схеме, представленной на рис.1. Меняющийся (в основном циклически флуктуирующий) под действием многих факторов климат прежде всего влияет на физические условия в океане, которые определяют главным образом термику, структуру и динамику его водных масс и состояние ледового покрова. Это отражается затем на структурных и функциональных параметрах морских экосистем и сообществ, что, в свою очередь, приводит к тем или иным перестройкам (реакциям) популяций промысловых организмов на фоне их промыслового изъятия. Возможны также прямые воздействия других климатических факторов (помимо температуры) на морскую биоту и промысловые объекты, например в результате изменения атмосферного давления, солнечной активности или потока ультрафиолетового излучения, однако механизмы и масштабы подобных воздействий еще предстоит изучить.

В последние десятилетия на фоне естественных (в основном циклических) изменений климата стали проявляться симптомы антропогенных эффектов,

Среди главных и наиболее значимых причин высокой изменчивости морских

связанных с выделением в атмосферу парниковых газов, влияющих на радиационный баланс Земли и сдвигающих его в сторону накопления тепла в нижней тропосфере [ИОС, 1997; Израэль и др., 2001; Burroughs, 2001; Hansen et al., 2002; Менжулин, 2002; Демирчан, Кондратьев, 2004]. Объем научной информации по проблемам «глобальной климатологии», в том числе в связи с возможным глобальным потеплением климата, насчитывает сейчас многие сотни публикаций.

Общий и главный вывод из многих исследований в этой области состоит в том, что будущее планетарного климата зависит от роста концентраций углекислого газа, метана и других парниковых газов в атмосфере, поглощающих тепловое излучение Земли и повышающих ее температуру, а сопутствующие эффекты глобального потепления могут привести к биосферным аномалиям и негативным экологическим последствиям во многих частях мира, особенно в высоких широтах. Многие специалисты полагают, что такого рода эффекты уже реально существуют и проявляются в уменьшении за последние 10-20 лет площади и толщины ледового покрытия в Арктике, усилении изменчивости погоды и климата и в ряде других аномалий, которые привели, в частности, к заметному (до 10%) снижению общемирового валового продукта [Nordhaus, 1994].

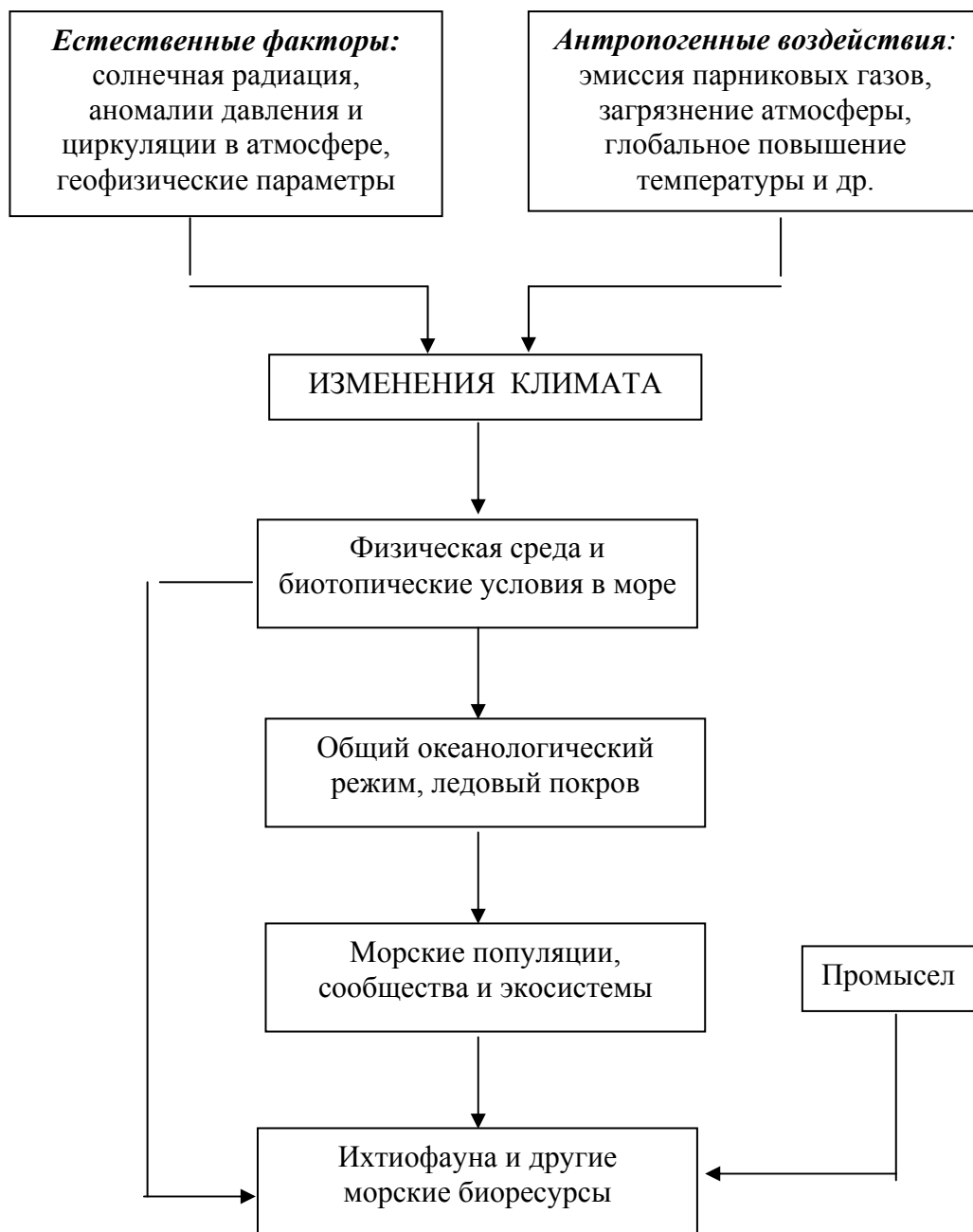


Рис 1. Структура и последовательность проявления климатических изменений в Арктических морях

К числу основных констатаций, которые вытекают из известных работ в области глобальной климатологии и экологии и которые имеют прямое отношение к проблеме возможных изменений морских экосистем и биоресурсов Арктики [Graham, 1995; Wood, 1997; Нагурный, 1997; Анисимов, Поляков, 1999; Борзенкова, 1999; Brodeur et al., 1999; Каплин и др., 2000; Павлидис, Леонтьев, 2000; Израэль и др., 2001; Семилетов, 2001; Парамонова и др., 2001; Bunyard, 2001; Радченко, 2003; Семенов и др., 2003; Еремеев, Платонов, 2004; Shimmield, 2005], можно отнести следующее:

1. Средняя приземная температура воздуха (ПТВ) за последние 100 лет, несмотря на все ее межгодовые и региональные колебания, показала заметный положительный тренд с суммарным приростом около $0,6^{\circ}\text{C}$. Особенно быстрые подъемы ПТВ наблюдались в 1930-1940-е годы и с конца 1970-х годов, причем в наибольшей степени это зафиксировано для умеренных и высоких широт Северного полушария. Одновременно наблюдается ослабление ледового покрытия в отдельных районах Арктики и повышение уровня моря. Эти и другие сопутствующие явления могут быть обусловлены природной циклическостью климатических процессов, однако есть многочисленные данные и мнения об их связи с начальной фазой «парникового эффекта».

2. Известные количественные оценки по результатам моделирования климата [IPCC, 1996] свидетельствуют о том, что при удвоении концентрации углекислого газа в атмосфере к 2050 г. среднее глобальное повышение ПТВ будет находиться в пределах $1,5-4,5^{\circ}\text{C}$. Более поздние прогнозы [IPCC, 2001] показывают, что такое повышение составит $1,4-5,8^{\circ}\text{C}$ при наиболее вероятном потеплении на $2,5^{\circ}\text{C}$, что в 4 раза выше, чем за весь XX в. Численное моделирование, и особенно палеорекострукции, показывают возможность усиления парникового эффекта с ростом географической широты

и его наиболее контрастные проявления в арктических и субарктических районах [Будыко и др., 1992].

3. Региональные оценки отличаются большей неопределенностью и широким диапазоном прогнозируемых изменений. Так, возможное потепление в XXI в. в регионах, прилегающих к Кольскому полуострову (Норвежское, Баренцево и Белое моря), ожидается в пределах $1,5-8^{\circ}\text{C}$ (наиболее вероятно, $+4^{\circ}\text{C}$), а для морей, прилегающих к Таймыру (Карское и Печорское моря, море Лаптевых), прогноз потепления составляет от 2 до 7°C (наиболее вероятно, $+3^{\circ}\text{C}$). По мере движения с запада на восток вдоль побережья сибирских морей эффект потепления будет нарастать.

4. Наиболее существенное отличие прогнозируемого глобального потепления климата от тех природных колебаний средней температуры, которые наблюдались в межледниковые периоды, состоит в повышенной скорости нарастания температуры и сопутствующих климатических и экологических аномалий. В условиях Арктики решающую роль играют процессы быстрого изменения альбедо и состояния морского льда по принципу положительной обратной связи [AMAP, 2001]. В результате этих процессов площади ледового покрытия в Арктике сократились за последние 40 лет в среднем на 10%, а в атлантическом секторе на 20-30% [Никифоров, 2003]. Некоторые модели предсказывают дальнейшее сокращение ледового покрова в Арктике вплоть до полного прекращения его формирования в некоторых районах к 2100 г. [IPCC, 2001; Радченко, 2003].

В кратком и упрощенном виде современную ситуацию следует трактовать таким образом, что в результате техногенных воздействий на глобальный и циклически флуктуирующий (в силу естественных процессов) термический фон атмосферы начал накладываться заметный положительный тренд (около $0,6^{\circ}\text{C}$ за

последние 100 лет). Его влияние отнюдь не нарушает общий ход природной цикличности климата, а лишь «корректирует» этот процесс, усиливая динамику потепления в теплые периоды и ослабляя падение глобальной температуры в периоды похолодания. В наибольшей степени эти процессы проявляются в полярных широтах, в том числе в морях Арктики.

Температура как экологический и лимитирующий фактор в морской среде

Климатические воздействия, и прежде всего изменения температуры нижней атмосферы, поверхности моря и ледового покрова, вызывают сложнейшую цепь реакций на всех уровнях иерархии жизни в море – от отдельных организмов и популяций до региональных экосистем и биоресурсов. Общая схема и последовательность таких процессов в морях Арктики с учетом возможного глобального потепления климата отражены на рис.2. Не углубляясь в их детальный анализ, остановимся подробнее на роли температурного фактора и влиянии климата на динамику морских экосистем и биоресурсов.

Температура, ее суточные, сезонные, годовые и долгопериодные колебания самым радикальным образом определяют характер, интенсивность и распределение биопродуцирования в морской среде, а в конечном счете и всю биогеографию Мирового океана. Это особенно характерно для полярных регионов, где перепады и градиенты температур особенно велики. Именно поэтому анализ термической структуры водных масс является, как известно, важнейшим направлением промысловой океанографии и главным источником информации о распределении и динамике морских биоресурсов.

На организменном уровне температурный режим прямо и сильно влияет на интенсивность всех физиолого-биохимических процессов в рыбах и других пойкилотермных организмов, регулируя их метаболизм, интенсивность

питания, соматический рост, половое созревание и другие процессы и функции, включая размножение, нерестовые и нагульные миграции и пр. Экологическое значение температуры в море усиливается, с одной стороны, благодаря высокой чувствительности большинства организмов к ее изменениям, а с другой стороны, из-за разнообразия и изменчивости термических условий в морских водоемах. В результате эволюционных адаптаций каждый вид имеет вполне определенный толерантный диапазон температур обитания, за пределами которого он почти не встречается, а также более узкие диапазоны оптимального термического режима в отдельные периоды жизненного и годового циклов, особенно на стадиях размножения и раннего развития.

Фитопланктон. Для фитопланктона температура воды, хотя и определяет общую интенсивность биопродуцирования (сезонные и другие колебания), все же не относится к числу прямых лимитирующих факторов, роль которых выполняют в основном биогенные элементы и световой режим. В соответствии с известными схемами фитогеографического районирования Мирового океана в высоких широтах обычно преобладают диатомовые водоросли, а по мере перехода в зоны умеренного климата начинают доминировать перидинеи в различных соотношениях со жгутиковыми и другими таксономическими группами фитопланктона. В условиях потепления климата в Арктике решающую роль в перестройке фитопланктона и усилении первичного биопродуцирования в полярных морях будут играть процессы сокращения ледового покрова [АМАР, 2003].

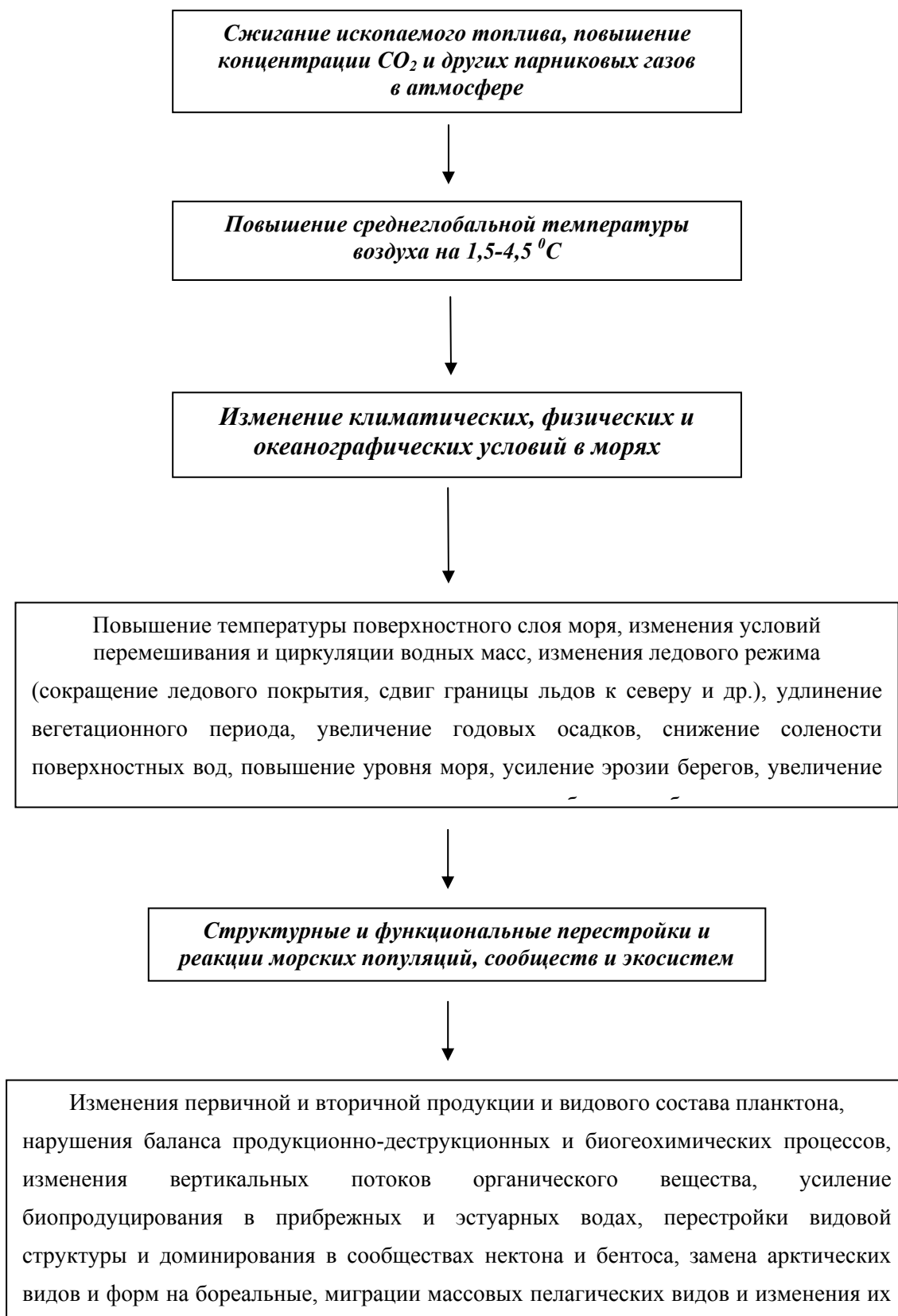


Рис.2. Общая схема прогнозируемых процессов, реакций и откликов морских экосистем Арктики в условиях глобального потепления [Патин, 1997]

Зоопланктон. Как ключевой компонент трофической структуры морских экосистем, зоопланктон подвержен сильным пространственным и временным колебаниям, в том числе за счет температурного фактора. Известны примеры флуктуации биомассы и видовых перестроек зоопланктона не только в разные сезоны (что достаточно хорошо изучено), но и под влиянием климатических изменений. Так, в субарктической части Тихого океана в период потепления в 1970-1990 гг. произошло удвоение биомассы сетного зоопланктона [Brodeur, Ware, 1992]. Климатически синхронизированные в масштабе десятилетий изменения в планктоне происходили в Северной Атлантике [Rothschild, 1995]. Во второй половине 90-х годов прошлого столетия зарегистрированы аномально быстрые и масштабные перестройки видового состава и трофической структуры планктона, включая вспышки развития медуз в Беринговом море, что связывают с общим климатическим потеплением в этом регионе [PICES, 2002]. Прямая многолетняя корреляция биомассы зоопланктона с температурой воды и некоторыми другими показателями климатических изменений зарегистрирована в 90-е годы XX в. в северо-западной части Тихого океана [NPAFC, 2000]. Сходные процессы были отмечены в середине 80-х годов XX в. в Баренцевом море, где в результате крупномасштабных атмосферных аномалий и потепления климата наблюдался значительный (в 3-4 раза) рост численности зоопланктона, который усилился также за счет сокращения запасов основного потребителя планктонных ракообразных – мойвы [Боровков и др., 2000].

Бентос. Изменения фауны бентоса под влиянием климатических факторов наиболее заметны в морях Арктики и Субарктики, где обитают виды, относящиеся к разным биогеографическим областям. Данные по видовому составу, численности и распределению моллюсков на дне Баренцева моря в течение 100 лет

выявили значительные циклические колебания всех этих показателей в тесной связи с периодичностью температурного режима и сменой периодов потеплений и похолоданий [Галкин, 1991]. В этой же работе показано, что масштабные изменения в бентосе могут протекать в весьма короткие сроки, исчисляемые годами. Аналогичные выводы были получены позже для бентоса Печорского моря [Denisenko et al., 1995]. Значительные перестройки прибрежных (особенно приустьевых) донных биоценозов прогнозируются в случае потепления климата во многих регионах Арктики [АМАР, 2003].

Ихтиофауна. Прямые реакции рыб на колебания термики водной среды отличаются исключительной быстротой и чувствительностью. Давно установлено, что большинство рыб имеют температуру тела всего на 0,5-1⁰С выше по сравнению с температурой окружающей среды и что они воспринимают слабые температурные градиенты – в пределах 0,03-0,1⁰С [Никольский, 1974]. Фактические перепады температуры, в том числе вызванные климатическими изменениями, по крайней мере на порядок превосходят пороговую термочувствительность рыб. Оптимальные температурные диапазоны для рыб могут сильно меняться на разных стадиях их жизненного цикла.

Главным и наиболее эффективным механизмом температурных приспособлений морских пелагических рыб является их миграционная способность, позволяющая осваивать обширные акватории с наиболее благоприятным термическим режимом и трофическим статусом. Радикальные и крупномасштабные изменения в распространении ихтиофауны, обусловленные температурными колебаниями в прошлые геологические эпохи, показаны для многих морских бассейнов, в том числе для морей Арктики и Дальнего Востока [Матишов, Павлова, 1990; Shimmield, 2005]. Есть

основания полагать, что именно этот механизм, то есть способность пелагических рыб к дальним миграциям, будет определять возможные перестройки промысловой ихтиофауны при соответствующих экосистемных изменениях в результате глобального потепления климата [Патин, 1997].

Возможные перестройки морских экосистем Арктики

Схематическое отображение последовательности экосистемных изменений в арктических морях в условиях глобального потепления дано на рис. 2. Эти изменения могут носить характер быстрых и радикальных перестроек в силу целого ряда причин. Среди них решающую роль будут играть процессы, влияющие на состояние ледового покрова, который в значительной мере определяет весь режим и экологию арктических морей. Судя по известным прогнозам, именно этот покров (его распространение, толщина, режим таяния и др.) как раз и послужит в качестве главной «мишени» глобального потепления климата. Если эти прогнозы сбудутся, то уже к середине текущего столетия вместо покрытых большую часть года арктических морей с характерной спецификой их экологии (сильные пространственно-временные пульсации биоты, преобладание пелагической пищевой цепи над донной, обедненный видовой состав и др.) возникнут преобразованные морские бассейны другого экологического типа и облика.

Не вдаваясь в детализацию отраженных на рис. 2 экосистемных преобразований, отметим, что они будут происходить широким фронтом, как на флангах Арктического шельфа России, так и в его центральной части. На западном и восточном флангах следует ожидать трансформации экосистем Карского и Чукотского морей в состояние, близкое к современной ситуации соответственно в Баренцевом и Беринговом морях. Ослабление ледовитости и сдвиг границы распространения льдов к северу при одновременном нарастании речного стока (за счет повышения суммы осадков и в результате таяния в зоне вечной мерзлоты) приведут к активизации буквально «замороженного» сейчас

биопродукционного потенциала морей Арктического шельфа и к фундаментальной перестройке их экосистем. Параллельно, хотя и с некоторым запозданием, будут происходить соответствующие изменения в ихтиофауне, которые начнутся скорее всего на западном и восточном краях шельфа в результате миграционной экспансии холодноводных видов из Баренцева и Берингова морей с последующим расширением ареалов их обитания на весь шельф.

Белое море. Можно предполагать, что именно это море, являясь типичным средиземным морским бассейном с малыми глубинами, относительно небольшой акваторией и мощным материковым стоком, будет одним из российских морей, где последствия парникового эффекта проявятся особенно быстро и ощутимо. Климатические условия здесь достаточно суровы, а ледовый покров сохраняется большую часть года. Именно поэтому Белое море относят к категории мезотрофных водоемов, а его продукционный потенциал значительно уступает Баренцеву морю и близок к интенсивности продуцирования в типично арктическом бассейне Карского моря. Влияние переноса теплых атлантических вод на продуктивность Белого моря практически ничтожно [Сапожников, 1994; Тимофеев, 1994]. Эта исходная фоновая информация при всей ее краткости достаточно убедительно свидетельствует о том, что расположенное ниже Северного полярного круга Белое море по своему продукционному статусу и трофической структуре находится примерно в такой же ситуации, как и типичные моря арктической зоны. Вместе с тем это море имеет существенно меньший объем водных масс, и потому климатически инициированные изменения его режима, равно как и экосистемные реакции, должны быть здесь более быстрыми и радикальными, нежели в обширных и открытых морях Арктического шельфа. К этому надо добавить, что помимо мощного речного стока (и соответствующего выноса биогенов) Белое море отличается удивительной изрезанностью береговой линии,

обилием заливов, губ и приустьевых акваторий, где, как известно, формируются наиболее благоприятные для биопродуцирования условия. Все это в совокупности позволяет предполагать, как и в случае арктических морей, своего рода «размораживание» экосистемы Белого моря и активизацию его ныне подавленных продукционных возможностей при условии и по мере развития здесь климатических последствий парникового эффекта в атмосфере.

Баренцево море. Это море занимает особое положение на фоне всех остальных арктических морей прежде всего за счет сильного влияния на него мощного притока относительно теплых атлантических вод, которые существенно повышают продуктивность всех биотических сообществ и моря в целом. О высоких продукционных показателях и экологической эффективности пищевых связей в Баренцевом море можно судить по табл.1.

Таблица 1. Характеристика Баренцева моря и показатели его годовой биопродуктивности [Матишов, Дробышева, 1994]

Характеристика	Показатель
Площадь, км ²	1,3 · 10 ⁶
Объем, км ³	2,7 · 10 ⁵
Соотношение вылова планктофагов, бентофагов и хищных рыб	70:4:26
Годовая продукция фитопланктона, млрд. т	2 – 3
Годовая продукция зоопланктона, млрд. т	120-300
Среднегодовая биомасса пелагических рыб (мойва, сайка, сельдь, молодь тресковых, млн. т)	12-30
Среднегодовая биомасса тресковых рыб, млн. т	3,0
Среднегодовой улов всех рыб, млн. т	1,5-2,0

Данные табл.1, особенно при соотнесении их с аналогичными показателями для Карского и Белого морей [Павлов, 1994], наглядно показывают, сколь велика роль теплового воздействия в активизации биопродуцирования и общей перестройке всей морской экосистемы. В ретроспективном плане есть основания предполагать, что в период последнего оледенения (около 20 тыс. лет назад) Баренцево море имело такие же климатические условия и такой же уровень биологической продукции, какие существуют сейчас в Карском море [Матишов, Павлова, 1990].

Экосистема Баренцева моря относится к шельфовому типу с внутренним круговоротом биогенов и преобладанием пелагических пищевых связей [Тимофеев, 1994]. Для этого моря характерны следующие черты: формирование населения за счет

небольшого числа массовых видов, доминирующее влияние абиотических факторов над биотическими, высокая подвижность и неустойчивость экосистемы с радикальным сезонным преобразованием ее трофической структуры.

Показанные на рис. 2 и связанные с потеплением климата процессы и изменения должны происходить и в Баренцевом море, хотя их проявление скорее всего не будет носить столь четкий характер, как в Белом море и на остальном шельфе Арктики. Обширная акватория и большой объем водных масс (см. табл.1), а также приток теплых атлантических вод - все это должно ослаблять и затушевывать влияние глобального потепления на общий режим Баренцева моря. Вероятнее всего, его роль будет сводиться в основном к поставке аркто-бореальных видов и

форм атлантической фауны (в том числе ихтиофауны) в прилегающие акватории Белого и Карского морей, а через последнее – и для всего Арктического шельфа.

Берингово море. Многие из сказанного выше можно распространить на Берингово море, которое напоминает Баренцево и по ряду климатических условий (относительная мягченность климата, сильное влияние открытого океана, соседство с типичным арктическим морем), и по общей экосистемной организации (признаки трофической сбалансированности и напряженности пищевых связей, преобладание пелагической трофодинамики над донной, богатство и обилие бореальных и аркто-бореальных форм и др.), и по интенсивности биопродукционных процессов, обеспечивающих высокий уровень рыбопродуктивности и богатые запасы массовых промысловых видов.

Экосистема Берингова моря отличается достаточно высокой эффективностью функционирования, то есть имеет повышенный выход продукции на замыкающих трофических уровнях. Это относится не только к пелагическим, но и к бентосным сообществам на шельфе, для которых характерны значительные биомассы и напряженные трофические связи [Сапожников, 1995].

Учитывая эти особенности, а также большой объем водных масс и глубоководность значительной части Берингова моря, можно предполагать в самых общих чертах, что это море, подобно Баренцеву, если и будет подвержено экосистемным перестройкам в результате потепления климата, то они скорее всего отразятся на структурных (а не продукционных) параметрах экосистемы и не проявятся столь четко, как в арктических морях. В будущих сценариях развития событий, инициированных климатом, это море может также сыграть важную роль как своеобразный «питомник» и источник бореальных видов для их экспансии в

Чукотское море и далее на прилегающий арктический шельф.

7.5.2 Влияние изменений климата на морские биоресурсы Арктики

2.1. Общие черты и особенности

Большинство известных работ по данной проблеме посвящено поискам связей и корреляций между состоянием популяций промысловых рыб (запасы, уловы, пополнение и др.) и теми или иными показателями изменения климата, опираясь на длительные ряды рыбопромысловых и климатических наблюдений. В качестве последних чаще всего фигурируют аномалии средней температуры морской воды и воздуха. Такие работы обычно сводятся к анализу ситуаций в рамках линейных и однофакторных связей типа «уловы-температура» и редко вскрывают причинно-следственные механизмы наблюдаемых корреляций. Однако в совокупности эти исследования позволяют сделать некоторые выводы и обобщения, которые не вызывают сомнений по поводу ключевой роли климата в крупномасштабной динамике морских биоресурсов. Краткая сводка соответствующих литературных данных приведена в табл. 2.

В периоды потепления в северной части Тихого океана происходит увеличение численности и масштабное расширение нагульных ареалов массовых пелагических рыб, как это было, например, в 80-годы прошлого века, когда биомасса дальневосточной сардины превышала 30 млн.т, а площадь ее распространения возросла в 100-200 раз [Klyashtorin, Smirnov, 1995; Беляев, 2000]. Одновременно происходило быстрое снижение численности других массовых видов пелагических рыб. Аналогичные противофазные изменения характерны для популяций минтая и сельди в Беринговом море [Шунтов, 2001].

Особенно сложные связи и реакции на климатические аномалии должны быть у

проходных рыб, для которых изменения температуры, речного стока, уровня моря и осадков могут приводить к сложным многофакторным воздействиям непредсказуемого характера. Известны тренды нарастания численности лососей и увеличения их возврата при повышении

температуры в заливе Аляска [Beamish, 1995]. Аналогичная положительная корреляция с региональным индексом понижения атмосферного давления установлена для суммарных уловов лососевых рыб на шельфе северной части Тихого океана [NPAFC, 2000].

Таблица 2. Сводные данные о долгопериодных изменениях запасов и уловов промысловых рыб в северной части Тихого океана в связи с динамикой и цикличностью климата (составлено по материалам Международного симпозиума по изменению климата и популяциям северных рыб [Beamish, 1995])

Характер и изменчивость климатических изменений	Район, период и объект наблюдений	Характер изменения популяций, запасов и уловов
Циклические колебания климатических индексов и ТПМ* в зимнее время	Северная часть Тихого океана (1945-1990 гг.), 15 видов рыб	Корреляция численности и уловов рыб со сменой теплых и холодных периодов. Интенсивное пополнение численности в теплые периоды
Синхронные периодические изменения ТПМ, ПТВ**, речного стока и осадков с циклом около 20 лет	Залив Аляска(1940-1990 гг.), сельдь <i>Clupea pallasii</i>	Повышение интенсивности нереста и пополнения после теплых периодов. Нелинейные связи численности рыб с ТПМ в масштабе 20-100 лет
Периодические изменения АМАД***, направления ветров и границы распространения льдов в теплые и холодные периоды с циклом 4-6 лет	Чукотское и Берингово море (1953-1992 гг.), минтай	Расширение ареала к северу за счет повышения ТПМ, снижения ледовитости и ослабления стратификации вод на шельфе
Вековые и междекадные колебания солнечной активности, смена теплых и холодных периодов	Зона Куроисио-Ойасио (1560-1990 гг.), сообщество рыб	Доминирование в теплые периоды (1-2 раза в столетие) сардины
Колебания ТПМ в пределах 1-2 ⁰ С с циклом 25 лет	Северо-восточная часть Тихого океана, минтай и камчатский краб	Колебания уловов минтая и крабов в противофазе с циклом 14 лет. Концентрирование минтая на внешнем склоне шельфа в холодные периоды и миграция к берегам в теплые периоды
Долгопериодные изменения комплекса климатических и океанографических показателей	Залив Аляска (1925-1992 гг.), лососи	Периодические изменения возврата и уловов с возможным влиянием ТПМ и состояния кормовой базы (зоопланктона)
Долгопериодные колебания ПТВ и ТПМ	Залив Аляска (1960-1995 гг.), горбуша	Положительная корреляция возвратов с аномальными повышениями температуры
Аномалии ТПМ с повышением в период 1978-1984 гг. и падением в последующие годы	Берингово море, шельф о-ва Прибылова (1950-1990 гг.), минтай	Ускорение роста и повышения численности в теплый период и сохранение этих показателей в период похолодания
Чередование теплых и холодных периодов	Берингово море (1970-1991 гг.), минтай, сельдь	Повышение численности минтая в теплые годы и противофазные изменения численности сельди
Долгопериодные изменения ТПМ и положения фронтальных зон	Северная часть Тихого океана (1978-1991 гг.), пелагические рыбы	Перестройка структуры рыбных сообществ и путей миграции рыб в зависимости от ТПМ и циркуляции водных масс

* ТПМ – осредненная температура поверхности моря;
 ** ПТВ – осредненная приводная температура воздуха;
 *** АМАД – Алеутский минимум атмосферного давления.

Вместе с тем имеются данные и мнения о возможности нарушения жизненного цикла

тихоокеанских лососей и негативных последствий для запасов анадромных

рыб при потеплении климата [Anderson et al., 1993; Beamish, 1995]. По-видимому, конечный эффект будет зависеть от сочетания конкретных условий и ситуаций в том или ином районе.

Наиболее четкое и сильное влияние температуры на ихтиофауну проявляется в период размножения и раннего развития рыб, когда диапазоны оптимальных температур обычно сокращаются и эффективность пополнения численности может сильно сдвинуться в ту или иную сторону. Какой-либо четкой классификации промысловых объектов по степени их термочувствительности пока не существует. Обычно принято относить к фауне относительно теплых вод такие виды, как сардина, анчоус, минтай, скумбрия, тунцы, тогда как мойву, треску, сельдь, навагу, лососей, сайку и ряд других рыб относят к видам холодноводного комплекса. Такое деление, конечно, условно и приблизительно из-за отмеченной выше изменчивости и сложности реакций рыб на колебания температуры в разные периоды их жизни.

Что касается скорости реагирования ихтиофауны на изменения температурного фона, то наиболее быстрые реакции такого рода (в виде изменения численности, структуры и ареалов популяций и др.) проявляют рыбы-планктофаги с коротким жизненным циклом и сильной зависимостью от обилия планктонной пищи и биопродуцирования на первых трофических уровнях. Именно для таких массовых эпипелагических рыб (сардины, анчоусы, сельди) отмечены сильные пульсации численности (иногда в противофазе для конкурирующих видов) в ответ на циклические флуктуации климатических параметров. Именно эти виды будут первыми расширять свои ареалы в случае проявления глобального потепления [Патин, 1997; Радченко, 2003]. О возможности дальних миграций рыб-планктофагов свидетельствуют также результаты некоторых исследований в области теории питания таких рыб [Giske, Gro Vea, 1995]. Из этих работ следует, что

пелагические планктофаги не проявляют особой избирательности при поиске пищи, поскольку селективный поиск кормовых объектов неизбежно сопряжен с высокими энергетическими затратами и повышенным риском гибели под прессом хищников.

Популяционные реакции некоторых массовых видов рыб на изменения температуры могут быть особенно четкими, быстрыми и масштабными в ситуациях, когда их ареалы накладываются на районы с преобладанием «пороговых» для данного вида температур. В таких случаях северные границы ареала будут определяться широтой расположения водных масс с температурой, приемлемой для обитания и воспроизводства того или иного вида, то есть выше порогового уровня. Такого рода ситуации характерны, например, для северной части Тихого океана (Берингово море) и Чукотского моря, где существуют обширные акватории с холодной «зимней» водой, где температура опускается до $-1,7^{\circ}\text{C}$ и таким образом блокирует распространение большинства видов ихтиофауны. Вместе с тем такие районы обычно отличаются достаточно высоким уровнем биопродуцирования и хорошей кормовой базой. Даже незначительное повышение теплосодержания водных масс в таких районах в силу любых причин (климатических, океанологических, сезонных) может сделать их доступными для нагула и размножения тех или иных видов и таким образом радикально изменить рыбопромысловую ситуацию в регионе.

Особенно тесная и четкая связь состояния рыбных запасов с региональным климатом и прежде всего с температурным режимом характерна для Баренцева моря. Многочисленные и многолетние исследования в этом регионе показали, что каждое похолодание вызывало здесь заметный спад запасов и уловов. Наиболее ярко это проявилось на рубеже 70-80-х годов

XX в., когда произошел резкий спад общего вылова в 2,5 раза. С тех пор объем добываемых ресурсов в Баренцевом море уже не достигал прежних величин 3-4 млн.т/год. Это устойчивое снижение запасов объясняется не только и не столько влиянием похолоданий, сколько сильным переловом основных объектов промысла [Матишов и др., 2001].

Таким образом, климатические воздействия на морские биоресурсы инициируются и проявляются в основном в результате температурных изменений. Они охватывают три основных процесса, определяющих численность промысловых видов, а именно – их размножение (пополнение), рост и смертность, причем последний процесс находится также под сильным влиянием промысла.

Глобальное потепление и рыбопродуктивность морей Арктики

С учетом физико-географических особенностей морей России и зональности прогнозируемых климатических аномалий глобального масштаба (их зависимости от географической широты) [IPCC, 2001] есть основания ожидать наиболее быстрые и радикальные проявления парникового эффекта в российских морях арктического пояса. Масштабное ослабление и тем более значительный сдвиг ледового покрытия к полюсу при одновременном нарастании речного стока и подъеме уровня моря должны привести к общей активизации биопродукционных процессов на всем протяжении мелководного и обширного шельфа Северного Ледовитого океана – от Карского моря до Чукотского.

В условиях потепления климата в Арктике формирование видового состава промысловой ихтиофауны будет происходить как за счет повышения численности немногих местных видов арктического комплекса (в основном, полупроходных сиговых рыб, некоторых тресковых и камбаловых), так и в результате расширения ареалов арктобореальных видов и форм (треска, минтай, мойва, сельдь, зубатка, камбала) в процессе их расселения из Баренцева и

Белого морей. Одновременно по мере усиления речного стока, выноса биогенов и отступления льдов должна возрасти роль приустьевых участков и всей прибрежной зоны шельфа как области нагула проходных и полупроходных рыб. Особенно ощутимо это будет проявляться в мелководных морях – Восточно-Сибирском и Чукотском, средняя глубина которых составляет всего 45 м. Однако и в Карском море, хотя и более глубоком (средняя глубина около 130 м), возможна резкая активизация продуцирования фауны полупроходных и проходных рыб, поскольку это море имеет исключительно мощный материковый сток (около 1300 км³/год) Оби, Енисея и других рек. Надо учесть также соседство Карского моря с высокопродуктивным Баренцевым морем и возможность быстрого расселения баренцевоморских видов на восток, что может быть также дополнено расширением ареалов некоторых видов проходных рыб (например, атлантического лосося) из бассейнов р. Печоры и Белого моря.

Количественные оценки возможного повышения рыбопродуктивности арктических морей в случае реализации здесь рассмотренных выше сценариев потепления климата крайне затруднены из-за отсутствия многих исходных данных, и прежде всего сведений об экологической емкости этих морей, то есть их способности поддерживать кормовыми ресурсами запасы и численность промысловых видов. В дополнение к приведенным выше аргументам в пользу «тепловой» активизации биопродукционных процессов на арктическом шельфе и, следовательно, создания здесь трофических предпосылок для формирования обильной ихтиофауны следует обратить внимание на то, что в современный период удельная продукция зоопланктона и зообентоса в Карском море лишь в 2-3 раза уступает аналогичным показателям для Баренцева моря [Павлов, 1994]. Если принять, что

на первом этапе потепления (в ближайшие десятилетия) в остальных морях Арктики установится биопродукционный режим, сходный с тем, что существует сейчас в Карском море, то с учетом известных соотношений продукции рыб и организмов зоопланктона и зообентоса можно предполагать, что средняя удельная рыбопродуктивность арктических морей будет составлять величину, в 2-3 раза меньшую, чем существует сейчас в Баренцевом море. С учетом площади шельфа Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей (3,1 млн. км²) и известных данных о рыбных запасах и уловах в Баренцевом море (см. табл.1) можно полагать, что среднегодовые биомассы морских пелагических рыб в арктических морях (помимо Баренцева моря) составят 10-30 млн.т, а возможный вылов - до 2 млн.т/год.

К этому надо добавить возможное обогащение и повышение продукции бентоса на шельфе этих морей с соответствующим кормовым обеспечением тресковых, камбаловых и других рыб бентали. Годовая биомасса придонных рыб может достигнуть здесь 3-5 млн.т. Одновременно следует ожидать подъема запасов и численности ценных полупроходных и проходных рыб в реках Арктического бассейна, где усиление биогенного и водного стока в условиях потепления и сокращения ледового покрова должно привести к благоприятным условиям размножения и нагула этих рыб.

Серьезные и позитивные изменения могут произойти также на восточном фланге арктического шельфа, где были отмечены случаи массовой миграции некоторых видов рыб (в основном, минтая) через Берингов пролив в Чукотское море в периоды потеплений и сдвига границы льдов к северу (см. табл.2). Из-за суровости ледовых условий в районе Берингова пролива здесь никогда до 1971 г. не наблюдали появления минтая к северу от пролива. Однако начиная с 1976 г., когда произошло заметное потепление и ослабление ледового режима на шельфах Берингова и Чукотского морей,

минтай начал проникать через Берингов пролив, и его регулярно обнаруживали в массовых количествах в Чукотском море в 1976-1991 гг. [Beamish, 1995]. Похоже, что начавшаяся еще в 70-е годы XX в. в Беринговом море экспансия минтая в северном направлении [Strickland, Sibley, 1984] достигла Чукотского моря. В случае нарастающего потепления в этом регионе есть основания ожидать расширения ареала обитания минтая на шельфе Чукотского моря, а затем - и в пределах мелководного Восточно-Сибирского моря.

В качестве дополнительных доводов в пользу вероятности этого процесса следует отметить благоприятные трофические условия для минтая в Чукотском море, сходство этих условий с теми, что существуют в юго-восточной части Берингова моря, где происходит его активный нагул, и, наконец, факт обнаружения в Чукотском море «оседлых» группировок минтая, которые не возвращаются снова в Берингово море [Echeverria, 1995]. Если учесть, что площадь шельфа Чукотского и Восточно-Сибирского морей в 1,5 раза превосходит протяженность шельфа Берингова моря, то в случае успешного вселения минтая только на шельфы двух ближайших арктических морей его биомассы могут достигнуть здесь величин порядка 15-20 млн. т с допустимым ежегодным выловом до 5 млн.т. Что касается аналогичных эффектов в самом Беринговом море, то прогностические оценки показывают возможность повышения общего максимального вылова в этом море по сценарию потепления до 4,2 млн.т [Радченко, 2003].

При всей условности и неизбежной приблизительности такого рода оценок и сценариев они все же дают определенное представление о масштабах и радикальности грядущих перестроек в экосистемах и ихтиофауне арктических морей России, которые даже при самых осторожных климатических

прогнозах могут резко повысить свой рыбопродукционный потенциал (до 30-40 млн.т по биомассе основных промысловых видов и до 10 млн.т/год суммарного вылова) и стать ареной интенсивного рыболовства и марикультуры. Это возможно, конечно, лишь в случае, если Северный Ледовитый океан перестанет быть «ледовитым» хотя бы в пределах его прибрежного шельфа.

Региональные аспекты

Итак, наиболее значимые и положительные с точки зрения рыбного хозяйства и промысла климатические изменения в XXI в. должны произойти в морях арктической и субарктической зоны. Остановимся подробнее на изменениях такого рода в бассейнах Баренцева и Белого морей, которые обладают высоким продукционным потенциалом и могут сыграть важную роль в грядущих перестройках рыбных ресурсов Арктики.

Баренцево море. Этот регион резко выпадает из общего ряда арктических морей благодаря мощному воздействию на его климатический режим теплых атлантических вод, поступающих сюда из системы Гольфстрима. О масштабах изменений биомассы планктона и рыб в Баренцевом море при смене теплых и холодных периодов в этом регионе можно судить по данным табл.3.

Таблица 3. Биомассы планктона и промысловых рыб Баренцева моря в зависимости от состояния регионального климата [Матишов и др., 2001]

Компонент экосистемы	Холодный период, конец 1960-х – начало 1970-х гг.	Период потепления, 1930-е гг.
Планктон	2,3 млрд.т	9,2 млрд.т
Планктоноядные рыбы	45 млн.т	180 млн.т
Хищные рыбы	3-4 млн.т	27 млн.т

Основанные на многолетних наблюдениях расчеты [Brender, 2005] показывают, что при среднем повышении температуры морской воды на 0,5⁰С ареалы трески и других промысловых рыб северных морей сдвигаются более чем на 100 км по градиенту увеличения биомассы планктона и температуры воды. В Баренцевом море этот процесс скорее всего будет

Такое радикальное увеличение биомассы промысловых рыб (в 4-8 раз) происходит под влиянием повышения температуры не только поверхностных, но и придонных вод, что улучшает условия обитания и нагула всех промысловых рыб Баренцева моря. В периоды потеплений, как это было, например, в 1987-1990 гг., атлантические воды проникают далеко на восток, и сюда же сдвигаются промысловые скопления трески, которые, как показано в ряде работ [Орлова и др., 1992; Матишов и др., 2001; АМАР, 2003], достигают 50⁰ в.д., то есть вплотную подходят к западному побережью Новой Земли.

Общая картина расширения ареалов промысловых рыб Норвежского и Баренцева морей в северо-западном направлении при повышении температуры моря на 1-2⁰С показана на рис.3. Известны случаи заходов трески в Карское море [Орлова и др., 1992], что говорит о достаточно высоких кормовых ресурсах этого моря (вероятно, за счет скоплений сайки и других мелких рыб) и о возможности расширения ареалов обитания трески и некоторых других баренцевоморских аркто-бореальных видов в восточном направлении по мере потепления регионального климата в этом регионе.

развиваться путем освоения богатой кормовой базы восточного баренцевоморского мелководья, которая составляет до 100 млн.т биомассы на площади около 20 тыс.км² и которая остается нетронутой в обычные (по температурному режиму) периоды.

Белое море. Как отмечено выше, есть вероятность того, что среди всех

российских морей особенно быстро отреагирует на грядущее глобальное потепление климата именно Белое море из-за его мелководности, большого речного стока, расположения в субарктической зоне и циркуляционной связи с более теплыми водами Баренцева моря.

Рыбопромысловое значение Белого моря в наши дни невелико, и это особенно заметно на фоне соседнего Баренцева моря. Достаточно напомнить, что суммарный вылов главных промысловых объектов в Белом море не превышает 1,5-

2,0 тыс.т, а наиболее ценная из лососевых рыб – семга – добывается в объемах менее 100 т.

Из этого не следует, однако, что продукционный потенциал Белого моря незначителен и что ситуация не может измениться к лучшему. Известно, что уловы беломорской сельди и семги в начале века в десятки раз превышали современный уровень. Известно также, что кормовая база моря достаточно богата и способна поддерживать гораздо более высокие запасы промысловых объектов.

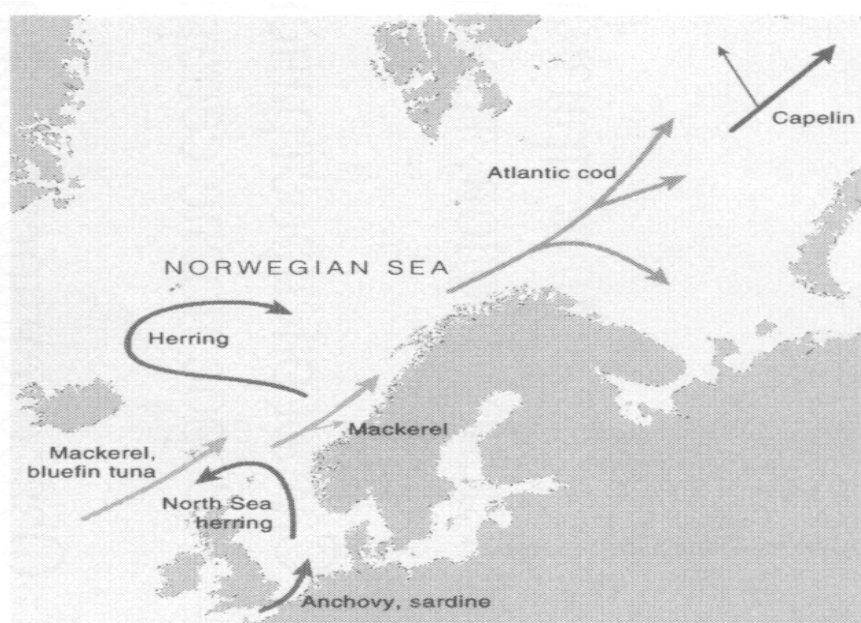


Figure 4.3 Possible changes in the distribution of selected fish species

Рис.3. Изменения распространения промысловых рыб Баренцева и Норвежского морей при повышении температуры морской воды на 1-2⁰C [АМАР, 2003]

Исследования экосистемы Белого моря [Сапожников, 1994] позволяют отнести его к мезотрофному водоему и свидетельствуют о достаточно высоком уровне первичного биопродуцирования. Кроме того, прибрежные участки Белого моря отличаются богатыми запасами агароносных макрофитов, которые давно добываются здесь в промышленных масштабах.

Главными факторами, которые ограничивают разнообразие и численность ихтиофауны в Белом море, следует считать короткий вегетационный период из-за длительности ледового покрытия (до 8 месяцев в году) и слабый приток баренцевоморских вод. В условиях прогнозируемого потепления возможно как резкое смягчение ледового режима, так и усиление поступления более теплых вод из Баренцева моря. В сочетании с повышением водности рек и притока биогенов это может радикально улучшить условия для размножения, нагула и развития промысловой ихтиофауны. Можно предполагать, в частности, не только значительный (в несколько раз) подъем численности местных видов, но и миграционное освоение кормовой базы беломорского шельфа и повышение его рыбопродуктивности за счет вселения некоторых объектов (например, трески, скумбрии, лососей) из соседних бассейнов Баренцева, Карского и Печорского морей.

В последнее десятилетие Белое море привлекает к себе внимание как район, перспективный для развития марикультуры моллюсков, рыб и водорослей. И хотя общие объемы и масштабы выращивания этих объектов пока скромны, биологические предпосылки для организации здесь такого рода хозяйств вполне благоприятны даже при сегодняшних суровых климатических условиях. Так, в Кандалакшском заливе на 33 га мидийных носителей выращивается более 500 т мидий высокого качества, а урожай за один вегетационный сезон может составлять здесь 100-200 т мидий [Похелюк, Семенова, 1995]. Обилие бухт и

укрытых акваторий на многих участках изрезанной береговой линии создает хорошие условия для садковых хозяйств по выращиванию лососей и других рыб. Можно не сомневаться, что в случае потепления климата в этом районе и особенно при смягчении ледового режима Белое море станет ареной не только активного рыболовства, но и эффективной морской аквакультуры.

В этом регионе, а также в прибрежных водах Баренцева моря перспективно развитие как товарного выращивания рыб, беспозвоночных и водорослей, так и пастбищного рыболовства. Последнее направление включает в себя воспроизводство лососей и других ценных видов рыб, подращивание молоди и выпуск в море на нагул. Отметим, что во многих странах (в том числе в Норвегии) морская аквакультура соизмерима по своей продукции с традиционным рыболовством [Войтоловский и др., 2003].

7.5.3. Истощение озонового слоя и усиление ультрафиолетовой радиации

К числу климатических проблем и угроз глобального масштаба относится также известное с начала 70-х годов XX в. явление истощения озонового слоя планеты. Это явление (озоновые дыры) особенно характерно для высоких широт. Механизм его возникновения связан в значительной мере с возрастанием концентрации загрязняющих веществ (в основном галогенуглеродов) в верхней атмосфере, что вызывает разрушение молекул озона в стратосфере и приводит к повышению интенсивности потока ультрафиолетовой радиации (УФ-излучение) на поверхность суши и океанов.

Глобальный фон УФ-радиации сам по себе является мощным экологическим фактором и оказывает заметное влияние на все формы жизни на поверхности суши и в водоемах, вызывая структурные изменения в клетках и нуклеиновых кислотах и нарушая

процессы роста и размножения, фотосинтез, деление клеток и другие физиологические и биохимические процессы в организмах. Это воздействие на глобальном и региональном уровнях заметно усиливается при снижении концентрации озона в стратосфере и нарастании потока УФ-излучения преимущественно в диапазоне волн 280-320 нм, которые в наименьшей степени поглощаются в атмосфере (УФ-В-радиация) [Кондратьев, Поздняков, 1996; Bischof, 2000].

Проблема биологических и экологических последствий истощения озонового слоя и повышения интенсивности УФ-В-радиации приобретает особую актуальность в полярных морских регионах, где эти эффекты многократно возрастают по сравнению со всеми другими регионами Мирового океана [АМАР, 1998]. Известно, что поверхностные воды и особенно пограничный слой на границе раздела моря с атмосферой являются биотопом для обитания и размножения многих видов морских организмов (гипонейстон), в том числе промысловых. В целом ряде работ [Neale et al., 1992; Израэль и др. 1995; Кондратьев, Поздняков, 1996; Цихон-Луканина и др., 1996; El-Sayed et al., 1996; Haeder, 1997; Rozema et al., 1997; Резниченко и др., 1999; Bischof, 2000; Saito, Taguchi, 2003] показана способность УФ-В-радиации проникать на глубины до 20-50 м и оказывать вредное воздействие на клетки фитопланктона, первичную и бактериальную продукцию, зоопланктон, икру и личинки многих беспозвоночных и рыб.

Обобщение и интерпретация результатов перечисленных выше и других известных работ по данной теме весьма затруднены из-за расхождения подходов, методов, объектов и районов исследований. Как правило, такие работы носят характер краткосрочных экспериментов и выполняются либо в лабораторных условиях, где имитируются те или иные природные ситуации, либо путем экспонирования тест-организмов *in situ* в

замкнутых объемах в поверхностном слое моря.

Один из главных выводов из известных исследований такого рода заключается в том, что среди всех групп морской биоты особенно высокой чувствительностью и уязвимостью к повышенному фону УФ-радиации отличаются первичные продуценты, и прежде всего фитопланктон. Отмечены нарушения фотосинтетической активности одноклеточных водорослей и макрофитов, снижение первичной продукции и скорости роста клеток, необратимые изменения метаболизма и ассимиляции питательных веществ и ряд других физиолого-биохимических эффектов [АМАР, 1998]. В конечном счете все это нарушает структуру и продукцию планктонных сообществ, изменяет их видовой состав и другие показатели, что в свою очередь может отразиться на состоянии других звеньев пищевой цепи и компонентов экосистемы, в том числе на промысловых организмах, а также на процессах, определяющих биогеохимический цикл углерода в океане и обмен углекислого газа между океаном и атмосферой.

Известные оценки интенсивности и масштабов таких нарушений весьма противоречивы. Так, имеются данные и расчеты, согласно которым за счет усиления глобального фона УФ-радиации первичная продукция в Мировом океане может снизиться на 17%, а рыбные запасы и промысел – на 27% [Резниченко и др., 1999]. В наибольшей степени такого рода ингибирующий эффект вероятен для Антарктики, где в период весеннего пика истощения озонового слоя скорость фотосинтеза в поверхностных водах снижалась на 12-25% [Neale et al., 1992]. Эксперименты в полевых условиях *in situ* в Беринговом и Чукотском морях показали возможность аналогичных эффектов в арктических и субарктических широтах [Израэль и др., 1995]. Установлено, в частности, что в этих районах УФ-В-радиация может проникать на глубины до 20 м и

ингибировать на 30-80% процессы первичной продукции и бактериальной деструкции органического вещества. Имеются данные о повышенной чувствительности реагирования на УФ-излучение фитопланктона арктических вод по сравнению с фитопланктоном умеренных и южных широт [АМАР, 1998].

Вместе с тем надо отметить, что экстраполяция результатов экспериментальных работ, даже при их выполнении в полевых условиях *in situ*, на природные популяции и обширные акватории океана вызывает серьезные возражения из-за игнорирования многих других факторов, лимитирующих состояние планктонных сообществ (гидрохимический и термический режим, биогенные элементы, динамика водных масс, ледовый покров, погодные условия и т.д.). Не случайно поэтому моделирование такого рода процессов с учетом всех основных факторов, влияющих на фитопланктон Южного океана, и на основе накопленных массивов многолетних наблюдений (в том числе за распределением стратосферного озона) показало, что снижение первичной продукции в водах Антарктики за счет усиления УФ-радиации в весенние периоды максимального истощения озонового слоя над этим регионом не превышает 0,25% [Arrigo et al., 2003]. Из сопоставления этой величины с приведенными выше аналогичными оценками легко видеть, что разброс имеющихся данных о нарушении первичного биопродуцирования в океане в результате повышения фона УФ-радиации достигает двух порядков величин (!).

Тем не менее негативные биологические последствия усиления интенсивности УФ-радиации в результате нарушения озонового экрана в полярных районах несомненно существуют. Их проявления в арктических морях могут существенно усиливаться за счет устойчивой стратификации поверхностного слоя воды, которая возникает в результате таяния льдов и поступления пресных вод с реками. В этом слое активного

перемешивания в морях Арктики концентрируются основные биомассы планктона, промысловых рыб и беспозвоночных, а также их икры и личинок, и именно здесь они могут получать высокие дозы повреждающей УФ-радиации [АМАР, 1998]. Однако какие-либо надежные количественные оценки таких эффектов и их последствий для состояния промысловых биоресурсов до сих пор отсутствуют.

Выводы, рекомендации

1. В результате техногенных воздействий на глобальный термический фон атмосферы Земли в XX веке начал накладываться заметный положительный тренд температуры (около 0,6°C за последние 100 лет). Его влияние не нарушает общий ход природной цикличности климата, но усиливает динамику потепления в теплые периоды и ослабляет падение глобальной температуры в периоды похолодания. В наибольшей степени эти процессы характерны для регионов полярных широт.
2. Особенно масштабные и радикальные последствия глобального потепления климата должны проявиться в арктических морях России. В результате таяния льдов, нарастания речного стока и других сопутствующих процессов станет возможной общая активизация биопродуцирования на всем протяжении мелководного и обширного Арктического шельфа – от Карского моря до Чукотского.
3. Здесь может сформироваться уникальная по видовому составу и численности ихтиофауна как за счет миграции и расширения ареалов массовых видов из Баренцева, Берингова и Чукотского морей (треска, сельди, минтай, лососи), так и в результате повышения численности местных видов арктического и аркто-бореального комплекса (сиговые, тресковые, камбаловые).
4. Потепление климата в бассейне Белого моря приведет к особенно

быстрым и радикальным перестройкам его экосистемы и биоресурсов и к повышению трофического статуса и промыслового значения этого моря.

5. Изменения в промысловой фауне Баренцева и Берингова морей не будут носить столь радикального характера из-за относительно напряженного состояния их кормовой базы и трофических связей. Эти моря могут играть важную роль в качестве источников расселения массовых пелагических рыб на западном и восточном флангах арктического шельфа.

6. Анализ возможных сценариев и перестроек в экосистемах и ихтиофауне арктических морей России в условиях потепления климата и сокращения ледового покрова показывает, что эти моря могут резко повысить свой рыбопродукционный потенциал (до 30-40 млн.т по биомассе основных промысловых видов) и стать ареной интенсивного рыболовства и эффективной аквакультуры с общим выловом промысловых объектов до 10 млн.т/год.

7. Радикальное изменение эколого-рыбохозяйственной ситуации в арктических морях России в случае реализации прогнозируемых сценариев потепления климата требует принятия ряда мер адаптивного характера. К их числу следует отнести:

- развитие системы комплексного экологического мониторинга в морях Арктики с целью получения систематической информации о режимных процессах и экосистемных параметрах (динамика водных масс, ледовый покров, речной сток, уровень моря, состояние планктона, бентоса, рыб, млекопитающих и т.д.);
- создание системы мониторинга уровней УФ-радиации и оценку последствий ее воздействия на биологическую продуктивность (первичная продукция, ранние стадии онтогенеза морских организмов и др.);
- создание банков данных по результатам комплексного экологического мониторинга морей России с целью выявления

антропогенных нарушений в экосистемах и биоресурсах в условиях меняющегося регионального климата;

- изменение стратегии управления рыбным хозяйством и промыслом с учетом прогнозируемых климатических изменений в Арктике и на основе современных подходов и концепции устойчивого природопользования в морских прибрежных зонах;
- развитие товарных и пастбищных форм морской аквакультуры в прибрежной зоне Белого и Баренцева морей в качестве альтернативы традиционному рыболовству в условиях сильной изменчивости климата и нестабильности запасов промысловых видов;
- создание сети морских биосферных заповедников и особо охраняемых акваторий Арктики с целью сохранения районов размножения промысловых видов и среды обитания редких и исчезающих видов;
- активизация международного сотрудничества по основным направлениям исследования климатических эффектов в арктических морях России и разработки адекватных мер реагирования на реальные и потенциально возможные последствия.

Литература

Анисимов О.А., Поляков В.Ю. К прогнозу изменения температур воздуха для первой четверти XXI столетия // Метеорология и гидрология. – 1999. – №2. – С.25-30.

Борзенкова И.И. О природных индикаторах современного глобального потепления // Метеорология и гидрология. – №9. – С.98-105.

Боровков В.А., Шевелев М.С., Шлейник В.Н. Современное состояние и

динамика промысловой экосистемы Баренцева моря // Биологические ресурсы побережья Российской Арктики. – М.: Изд-во ВНИРО, 2000. – С.13-18.

Бочаров Л.Н., Шунтов В.П. Состояние и задачи современного этапа экосистемных исследований биологических ресурсов дальневосточных морей России // Рациональное природопользование и управление морскими биоресурсами: экосистемный подход. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2003. – С.3-8.

Будыко М.И., Борзенкова И.И., Менжулин Г.В., Селяков К.И. Предстоящие изменения регионального климата // Изв. РАН, сер. Геогр.. – 1992. – №4. – С.36-52.

Войтоловский Г.К., Киреев В.Е., Корзун В.А. Размышления о рыболовстве. Теория и практика. – М.: СОПС, 2003. – 143 с.

Галкин Ю.И. Многолетние изменения донной фауны под влиянием климата (на примере моллюсков Баренцева моря). – Дисс. на соиск. уч. степ. докт. биол. наук. – Ленинград.: ЗИН АН СССР, 1991. – 46 с.

Демирчан К.С., Кондратьев К.Я. Глобальный круговорот углерода и климат // Изв. РГО. – 2004. – Т.136: Вып.1. – С.16-25.

Еремеев В.А., Платонов Н.Г. Центральная Арктика: место противоборства естественных и антропогенных факторов влияния на климат // Исследования Земли из космоса. – 2004. – №5. – С.92-96.

Израэль Ю.А., Груза Г.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий // Метеорология и гидрология. – 2001. – №5. – С.5-21.

Израэль Ю.А., Цыбань А.В. (ред.). Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей. – М.: Наука, 2000. – 358 с.

Израэль Ю.А., Цыбань А.В., Кудрявцев В.М., Щука С.А., Жукова А.И. Проникновение биологически активной УФ-радиации и ее воздействие на важнейшие биологические процессы в Беринговом и Чукотском морях //

Метеорология и гидрология. – 1995. – №10. – С.13-28.

Каплин П.А., Павлидис Ю.А., Селиванов А.О. Морские побережья в XXI веке // Природа – 2000. – №3. – С.37-45.

Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. Связь циклических флюктуаций климата и рыбопродуктивности // Рациональное природопользование и управление морскими биоресурсами : экосистемный подход. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2003. – С.27-30.

Кондратьев К.Я. Изменения глобального климата: реальность, предположения и вымыслы // Исследования Земли из космоса. – 2002. – №1. – С.3-23.

Кондратьев К.Я., Демирчан К.С. Глобальные изменения климата и круговорот углерода // Изв. Русск. Геогр. Об-ва. – 2000. – Т.132. – Вып.4. – С.1-19.

Кондратьев К.Я., Поздняков Д.В. Воздействие обусловленной спадом общего содержания озона ультрафиолетовой радиации на водные экосистемы // Исследования Земли из космоса. – 1996. – №5. – С.94-105.

Матишов Г.Г. (ред.). Экология промысловых видов рыб Баренцева моря. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. – 405 с.

Матишов Г.Г. (ред.). Вековые изменения экосистем Арктики. Климат, морской перигляциал, биопроductивность – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. – 350 с.

Матишов Г.Г., Денисов В.В., Дженюк С.Л. Современный климатический тренд и состояние биоресурсов Баренцева моря // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. – М.: Научный мир, 2001. – С.289-296.

Матишов Г.Г., Денисов В.В., Чинарина А.Д., Кирилова Е.Э. Динамика экосистем и биоресурсов европейских морей России // Изв. РАН, сер. геогр. – 2000. – №6. – С.28-36.

- Матишов Г.Г., Дробышева С.С.** Общие закономерности структуры и развития морских экосистем европейской Арктики // Эволюция экосистем и биогеография морей Европейской Арктики – СПб: Наука, 1994. – С.9-20.
- Матишов Г.Г., Павлова Л.Г.** Общая экология и палеогеография полярных океанов. – Л.: Наука, 1990. – 220 с.
- Менжулин Г.В.** (ред.). Изменения климата и их последствия. – СПб: Наука, 2002. – 270 с.
- Нагурный А.П.** Оценка многолетней и сезонной изменчивости толщины морских льдов в Арктическом бассейне // Докл. РАН. – 1997. – Т.353, №5. – С.673-675.
- Никифоров В.** Региональные изменения климата и угроза для экосистем. Таймырский экорегион – М.: Всемирный фонд охраны дикой природы (WWF), 2003. –
- Никольский Г.В.** Экология рыб. – М.: Высшая школа, 1974. – 367 с.
- Павлидис Ю.А., Леонтьев И.О.** Прогноз развития береговой зоны Восточно-Сибирского моря при повышении его уровня и потеплении климата // Вестник РФФИ. – 2000. – №1(19). – С.31-40.
- Павлов Д.С.** (ред.). Эволюция экосистем и биогеография морей Европейской Арктики. – СПб(б): Наука, 1994. – 220 с.
- Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Решетников А.И.** Мониторинг углекислого газа и метана в России // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2001. – Т.37, №1. – С.38-43.
- Патин С.А.** Морские экосистемы, биоресурсы и глобальный климат в XXI веке // Рыбное хозяйство. – 1997. – №2. – С.45-55.
- Перцова Н.М., Кособокова К.Н.** Межгодовые изменения биомассы и распределения зоопланктона в Кандалакшском заливе Белого моря // Океанология. – 2002. – Т.42, №2. – С.240-248.
- Пономаренко В.П., Зеленков В.П.** Биологические ресурсы побережья Российской Арктики. – М.: Изд-во ВНИРО, 2000. – 203 с.
- Похилюк В.В., Семенова Г.И.** Состояние мидиевого хозяйства на Белом море // Тез. докл. Междунар. симпоз по марикультуре. – М.: Изд-во ВНИРО, 1995. – С.93-94.
- Радченко В.И.** Изменения климата и перспективы рыболовства в Беринговом море в первой половине XXI века // Рациональное природопользование и управление морскими биоресурсами : экосистемный подход. – Владивосток: ТИПРО-Центр, 2003. – С.51-53.
- Резниченко О.Г., Цихон-Луканина Е.А., Лукашева Т.А.** Влияние ультрафиолетового облучения на биоту океана // Биология моря. – 1999. – Т.25, №1. – С.24-30.
- Семенов Е.К., Соколихина Е.В., Соколихина Н.Н.** Современные изменения климата в области высоких широт Северного полушария // Метеорология и гидрология. – 2003. – №1. – С.18-30.
- Сапожников В.В.** (ред.). Комплексные исследования экосистемы Белого моря. – М.: Изд-во ВНИРО, 1994. – 175 с.
- Сапожников В.В.** (ред.). Комплексные исследования экосистемы Баренцева моря. – М.: Изд-во ВНИРО, 1995. – 411 с.
- Семилетов И.П.** Парниковый эффект, цикл углерода в Арктике, Российская трансарктическая экспедиция – 2000 // Вестник РФФИ. – 2001. – №2(24). – С.59-64.
- Сиренко Б.И., Алимов А.Ф.** Арктические морские экосистемы // Рациональное природопользование и управление морскими биоресурсами: экосистемный подход. – Владивосток: ТИПРО-Центр, 2003. – С.14-17.
- Цихон-Луканина Е.А., Резниченко О.Г., Лукашева Т.А.** Влияние истощения озонного экрана Земли на биологическую продуктивность океана // Рыбное хозяйство. – 1996. – №5. – С.49-
- Шунтов В.П.** (ред.). Биология дальневосточных морей России. Т.1. –

Владивосток: ТИПРО-центр, 2001. – 580 с.

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). AMAP assessment report: Arctic pollution issues. – Oslo: AMAP, 1998. – 859 p.

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). AMAP Assessment 2002: The influence of global change on contaminant pathways tp, witjin, and from the Arctic. – Oslo: AMAP, 2003. – 65 p.

Anderson D.M., Shanke S.A., Scott M.J., Neitzel D.A., Hatters J.C. Valuing effects of climate change and fishery enhancement on Chinook // Contemp. Policy Issues. – 1993. – Vol.11, No.4.- P.82-94.

Arrigo K.R., Lubin D., Van-Dijken G.L., Holm-Hansen O., Morrow E. Impact of a deep ozone hole on Southern Ocean primary production // Journal of Geophysical Research. – 2003. – Vol.108, No.C5.

Beamish R.J. (ed.). Climate change and northern fish populations // Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. – 1995. – Vol.121. – P.687-689.

Bolin B. Politics and IPCC // Science. – 2002. – Vol.296. – P.1235-1238.

Bischof K. Effect of enhanced UV-radiation on photosynthesis of Arctic/cold-temperate macroalgae // Reports of Polar Research. – 2000. – Vol.375. – 88 p.

Brender K. Effect of climate change on fish distribution and dynamics on the North Atlantic // ESSAS Symposium. – 2005. – 24 pp.

Burroughs W.J. Climate change: a multidisciplinary approach. – Cambridge University Press, 2001. – 298 p.

Brodeur R.D., Ware D.M. Long-term variability in zooplankton biomass in the Subarctic Pacific Ocean // Fisheries Oceanography. – 1992. – Vol.11, No.1. – P.32-38.

Brodeur R.D., Mills C.E., Overland J.E., Walters G.E., Schumacher J.D. Evidence for a substantial increase in gelatinous zooplankton in the Bering Sea, with possible links to climate change // Fisheries Oceanography. – 1999. – Vol.8, No.4. – P.296-306.

Denisenko S.G., Denisenko N.V., Dahle S. Baseline Russian investigations of the bottom fauna in the southeastern part of the Barents Sea // Ecology of fiords and coastal waters. – Elsevier, 1995. – 293-302.

El-Sayed S.Z., Van Dijken G.L., Gonzalez-Rodas G. Effects of ultraviolet radiation on marine ecosystems // International Journal of Environmental Studies. – 1996. – Vol.51, No.3. – P.199-216.

Giske J., Gro Vea S. Why pelagic planktivores should be unselective feeders // Journ. Theor. Biol.- 1995. – Vol.173, No.1. – P.41-51.

Haeder D.-P. Effect of UV radiation on phytoplankton // Advances in Microbial Ecology. – 1997. – Vo.15. – P.1-26.

Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. Global warming continues // Science. – 2002. – Vol.295. – P.275.

IOC (International Oceanographic Commission). Reports of the meetings of experts and equivalent bodies. Joint GCOS GOOS WCRP Ocean Observations Panel for Climate (OOPC). – GCOS Report. – 1997. – No.41. – 85 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate change 2001, Third Assessment Report of the IPCC. The scientific basis (v.1). Impacts, adaptations, and vulnerability (v.2). Mitigation (v.3). – Cambridge Univ. Press, 2001.

Jones P.D., Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001 // J. Climate. – 2003. – Vol.16. – P.206-223.

Klyashtorin L.B. Pacific salmon: climate-linked long-term stock fluctuations // PICES Press. – 1997. – Vol.5, No.2. – P.2-7.

Klyashtorin L.B. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches. The possibility of forecasting // FAO Fisheries Technical Paper. – 2001. – No.410. – 86 pp.

Klyashtorin L., Smirnov B. Climate-dependant salmon and sardine stock

fluctuations in the North Pacific // Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. (Climate change and northern fish populations). - 1995. - Vol.121. - P.687-689.

Neale P.J., Michael P., Cullen J.J., Goldstone J. Detecting UV-induced inhibition of photosynthesis in Antarctic phytoplankton // Antarctic Journal. - 1992. - Vo.27, No.5. - P.122-124.

Northhaus W.D. Expert opinion on climatic change // Amer. Sci. - 1994. - Vol.82, No.1. - P.45-51.

NPAFC (North Pacific Anadromous Fish Commition) // NPAFC Bulletin. - 2000. - No.2.

PICES (North Pacific Marine Science Organization). PICES Scientific Report No.22. - 2002. - 102 p.

Planque B., Taylor A.H. Long-term changes in zooplankton and the climate of the North Atlantic // ICES Journal of Marine Science. - 1998. - Vol.55, No.4. - P.644-654.

Rothschild B.J. Fish stock fluctuations as indicators of multidecadal fluctuations un the biological productivity of the ocean // Climate change and northern fish populations. - Can.Spec.Publ.Fish. Aquat.Sci. - 1995. - Vol.121. - P.201-209.

Saito H., Taguchi S. Influence of UVB radiation on hatching success fo marine copepod *Paracalanus parvus* s. I. // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. - 2003. - Vol.282, No.1-2. - P.135-147.

Shimmield G. Climate change and human impacts on the marine environment and ecosystems of the Arctic // ICES Plenary scientific session 2005. - 10 p.

Wood C.M. Global warming: implication for freshwater and marine fish // Soc. Exp. Biol. Sem. Ser. - 1997. - No.61. - 440 pp.