

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОТЕПЛЕНИЯ В АРКТИКЕ



CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

Опубликовано синдикатом печати Кэмбриджского Университета
Питт Билдинг, Трампингтон стрит, Кэмбридж, Великобритания

ИЗДАТЕЛЬСТВО КЭМБРИДЖСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
Эдинбург Билдинг, Кэмбридж, CB2 2RU, Великобритания
40, 20-я Западная стрит, Нью-Йорк, 10011-4211, США
10, Стэмфорд роад, VIC 3166, Австралия
Руиз де Аларзон, 28014, Мадрид, Испания
Док Хаус, Уотерфронт, Кейптаун 8001, Южная Африка

<http://www.cambridge.org>

Впервые опубликовано в 2004 г.

Оригинальная версия на английском языке отпечатана в Канаде
ISBN 0 521 61778 2 мягкая обложка

©Оценка климатических воздействий в Арктике

Автор

Сюзан Джой Хассол

Подготовка макета и графический дизайн

Пол Грэхорн, Джошуа Уэйб्राйт, Клиффорд Грабхорн (картография)

Фотографии

Брайан и Черри Александер и другие: см. стр. 139

Технический редактор

Каролин Симон

Секретариат АСИА

Гюнтер Веллер, Исполнительный директор; Патрисия А. Андерсен, зам. исполнительного директора; Барб Хамейстер, Шерри Линч
Международный Центр исследований Арктики, Университет Аляски, Фэрбанк
AK 99775-7740, США. Тел: +907 474 5818. Факс: +907 474 67222.
<http://www.acia.uaf.edu>

Секретариат АМАП

П.О. Бокс 8100 Деп. Н-0032 Осло, Норвегия
Тел.: +47 23 24 16 30 Факс: +47 22 67 67 06 <http://www.amap.no>

Международный Секретариат КАФФ

Хафнарстраети 97 600 Акуреири, Исландия
Тел: +354 461-3352 Факс: +354 462-3390 <http://www.caff.is>

Секретариат МАНК

Миддлтанс гейт 29 П.О. Бокс 5156 Майорытуа Н-0302 Осло, Норвегия
Тел: +47 2295 9900 Факс: +47 2295 9901 <http://www.iasc.no>

Перевод и издание:

Перевод на русский язык осуществлен при финансовой поддержке Росгидромета (ААНИИ)
Редакторы русского издания: Ю.С. Цатуров и А.И. Данилов
Переводчики: В.Е. Лагун, С.В. Яговкина
Издание на русском языке осуществлено Полярным Фондом при финансовой поддержке Норвегии

Участники проекта

Группа объединения оценок

Роберт Корелл,	Председатель, Американское метеорологическое общество, США
Пол Преструд,	Вице-председатель, Центр климатических исследований в Осло, Норвегия
Гюнтер Веллер	Университет Аляски, Фэрбанк, США
Патрисия А. Андерсен	Университет Аляски, Фэрбанк, США
Снорри Балдурссон	Взаимодействие с Арктическим Советом, Исландия
Элизабет Буш	Департамент окружающей среды Канады, Канада
Терри В. Каллахэн	Научно-исследовательская станция Абиско, Швеция
Пол Грэхорн	Шеффилдский Центр экологии Арктики, Великобритания
Сюзан Джой Хассол	Студия Грэхорна, Инк., США
Гордон Макбин	Автор научно-популярной литературы, США
Майкл Маккракен	Университет Западного Онтарио, Канада
Ларс-Отто Рейерсен	Институт климата, США
Ян Идар Солбаккен	Программа арктического мониторинга и оценки
	Постоянные участники, Норвегия

Координационный Комитет АСИА

Роберт Корелл, Председатель	МАНК, США
Пал Преструд, заместитель Председателя	КАФФ, Норвегия
Снорри Балдурссон (до августа 2000 г.)	КАФФ, Исландия
Гордон Макбин (начиная с августа 2000 г.)	КАФФ, Канада
Ларс-Отто Рейерсен	АМАП, Норвегия
Ханне Петерсен (до сентября 2001 г.)	АМАП, Дания
Юрий Цатуров (начиная с сентября 2001 г.)	АМАП, Россия
Берт Болин (до июля 2000 г.)	МАНК, Швеция
Рогнвалдур Ханнессон (начиная с июля 2000 г.)	МАНК, Норвегия
Терри Фендж	Постоянные участники, Канада
Ян Идар Солбаккен	Постоянные участники, Норвегия
Синди Диксон (начиная с июля 2002 г.)	Постоянные участники, Канада

Ведущие авторы Полного научного отчета

Джим Бернер	Консорциум по здравоохранению коренного населения Аляски, США	Гордон Макбин	Университет Западного Онтарио, Канада
Терри В. Каллахэн	Научно-исследовательская станция Абиско, Швеция	Джеймс Дж. Маккарти	Гарвардский Университет, США
Шэри Фокс	Шеффилдский Центр экологии Арктики, Великобритания	Марк Наттэлл	Университет Абердина, Шотландия, Великобритания
Кристофер Фургал	Университет Колорадо в Боулдере, США	Терри Д. Праус	Университет Альберты, Канада
Альф Хакон Хозл	Университет Лавала, Канада		Национальный институт исследований водных ресурсов, Канада
Генри Хантингтон	Университет Тромсё, Норвегия	Джеймс Д. Рейст	Департамент по рыболовству и океанам Канады, Канада
Арне Инстанес	Хантингтон Консалтинг	Эми Штевермер	Университет Колорадо в Боулдере, США
Гленн П. Джудэй	Инстанес консалтинг инжинирс, Норвегия	Аапо Тансканен	Финский Метеорологический институт, Финляндия
Эрланд Шаллен	Университет Аляски, Фэрбанк, США	Майкл Б. Ашер	Университет Стирлинга, Шотландия, Великобритания
Владимир М. Катцов	Стокгольмский Университет, Швеция	Хьялмар Уильямсон	Институт морских исследований, Исландия
Дэвид Р. Клейн	Главная Геофизическая обсерватория, Россия	Джон Е. Уолш	Университет Аляски, Фэрбанк, США
Харальд Лознг	Университет Аляски, Фэрбанк, США	Бэтси Узэрхед	Университет Колорадо в Боулдере, США
Мэрибет Лонг Мартелло	Институт морских исследований, Норвегия	Гюнтер Веллер	Университет Аляски, Фэрбанк, США
	Гарвардский Университет, США	Фред Дж. Врона	Национальный институт исследований водных ресурсов, Канада

Примечание: полный список всех участников проекта приведен на стр. 129

Данный отчет был подготовлен на английском языке и переведен на ряд других языков; версия на английском языке является официальной

Как сослаться: ACIA, *Impacts of Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press, 2004

<http://www.acia.uaf.edu>

Предисловие

Арктика имеет особое значение для всей планеты и в ней происходят быстрые изменения природной среды. Поэтому особенно важно, чтобы лица, принимающие решения, имели доступ к самой последней и надежной информации об изменениях, происходящих в Арктике. Данный отчет в доступной форме обобщает ключевые выводы Программы по оценке климатических воздействий в Арктике (АСИА) и предназначен для того, чтобы представить результаты научных исследований для политических деятелей и широкой общественности. Результаты АСИА являются научно-обоснованной оценкой изменений климата Арктики и оценкой влияния этих изменений на регион и на весь мир, подкрепленной множеством ссылок на первоисточники и прошедшей независимое рецензирование. Эта оценка является результатом четырехлетней совместной работы сотен ученых разных стран и включает также соответствующие знания коренных народов.

Выполнить эту оценку Арктический Совет уполномочил две своих рабочих группы, Программу арктического мониторинга и оценки (АМАП) и Программу по охране арктической флоры и фауны (КАФФ), совместно с Международным арктическим научным комитетом (МАНК) и его исполнительными органами. Осознавая большую важность Арктики и данного отчета для общества, поскольку в нем рассматриваются отклики на растущие вызовы, связанные с изменениями климата, сотрудничающие организации считают почетной обязанностью направить отчет Арктическому Совету и международному научному сообществу.

Арктический Совет

Арктический Совет является международным форумом высокого уровня, который предоставляет механизм для рассмотрения общих вопросов и проблем, встающих перед народами и правительствами Арктического региона. Он включает в себя восемь арктических государств (Канада, Дания/Гренландия/Фарерские острова, Финляндия, Исландия, Норвегия, Россия, Швеция и Соединенные Штаты Америки), шесть организаций коренных народов (постоянные участники: Международная Ассоциация алеутов, Совет атабасков Арктики, Международный Совет гвичинов, Циркумполярная конференция инуитов, Ассоциация коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока России и Совет саамов) и официальных наблюдателей (включая Францию, Германию, Нидерланды, Польшу, Великобританию, неправительственные организации), а также научные и другие международные организации.

Международный арктический научный комитет

Международный арктический научный комитет является неправительственной организацией, цель которой состоит в поддержке и усилении сотрудничества по всем направлениям исследований Арктики между учеными и институтами стран, где активно выполняются программы по изучению Арктики. Членами Международного арктического научного комитета являются национальные научные организации, как правило, Академии наук, которые стремятся определить приоритетные исследовательские задачи и предоставляют условия для разработки проектов и их выполнения.

Координационный Комитет АСИА

Координационный Комитет АСИА был ответственен за научный надзор и координацию всей работы по подготовке отчетов по оценке. Полный список членов этого комитета приведен на стр. 138. Научные выводы АСИА опубликованы в двух отдельных отчетах: в настоящем сводном отчете и в более исчерпывающем и подробном научном отчете, который включает ссылки на научную литературу. АМАП, КАФФ и МАНК получили письменное свидетельство, подписанное руководством АСИА и всеми ведущими авторами в том, что заключительный научный отчет отражает их экспертные выводы и что данный сводный отчет полностью соответствует научному отчету.

Как читать этот отчет

При представлении полученных результатов используется приводимая ниже оценка вероятности отдельных наблюдаемых воздействий, основанная на экспертной оценке результатов анализа обширного фактического материала, включая полевые и лабораторные эксперименты, наблюдаемые тренды, теоретические исследования и модельные расчеты.

Суждения о вероятности оценок, основанных на этих исходных данных, представлены с использованием пяти лексических уровней, соответствующих повседневно используемым терминам (крайне маловероятно, маловероятно, возможно, вероятно, очень вероятно). Наибольшее доверие вызывают результаты, имеющие крайние оценки по этой шкале. Вывод о том, что результат воздействия «будет» иметь место, относится к ситуациям, когда и опыт и многочисленные методы анализа вместе показывают, что последствие наступит неизбежно в результате предполагаемых изменений климата. Хотя остаются неопределенными многие детали того, как климат, окружающая среда и общество будут изменяться в будущем, эксперты имеют больше уверенности в одних результатах, чем в других. Следовательно, используемая терминология отражает текущее состояние научного понимания.



Предполагаемые воздействия, рассматриваемые в настоящем отчете, основываются на данных наблюдений и на умеренном сценарии будущего потепления, *то есть не на самом экстремальном сценарии*. Если рассмотреть полный диапазон сценариев, проанализированных Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК), то основной сценарий, используемый в анализе АСИА, окажется ниже середины диапазона сценариев МГЭИК для роста температуры.

Результаты, обобщенные в этом отчете, так же как и полный и содержащий все ссылки на первоисточники научный отчет, на котором базируется данный отчет, не включают тщательного экономического анализа воздействий изменений климата, так как в настоящее время необходимая информация недоступна. Хотя иногда упоминаются стратегии по адаптации, они не анализируются детально. Данная оценка не включила в себя анализа мер по снижению воздействий изменения климата посредством снижения эмиссии парниковых газов.

Ссылка на главы полного научного отчета, которые, главным образом, использовались для обобщения, представленного в данном документе, указана в нижнем углу каждой левой страницы (исключая Резюме и раздел «Отдельные региональные воздействия», для которых использовались все главы).

Наконец, данная оценка была направлена на рассмотрение воздействий, которые, как ожидается, будут наблюдаться в этом столетии. Важные воздействия с более длинным периодом иногда упоминаются, но не анализируются детально.

Содержание



Проблема

Глобальное изменение климата	2
Арктический регион	4
Население Арктики	6

Резюме

Изменение климата Арктики и их воздействия	8
Ключевые выводы	10
Климатические тренды в Арктике	12
Воздействия на природные комплексы	15
Воздействия на общество	16
Региональные воздействия	18

Свидетельства, подтверждающие ключевые выводы

1. Изменение климата Арктики	22
2. Глобальные последствия	34
3. Изменения вегетации	46
4. Смещения ареалов видов животных	58
5. Воздействия на прибрежные зоны	78
6. Морские перевозки	82
7. Протаивание грунта	86
8. Коренные сообщества	92
9. Ультрафиолетовая радиация	98
10. Многочисленные стрессы	106

Обзор отдельных региональных воздействий

Улучшение будущих оценок	112
Заключительные выводы	122
Приложения	124

Сценарии эмиссий	126
Содержание Полного научного отчета АСИА	128
Авторы и места их работы	129
Авторы рисунков и фотографий	139



Глобальное изменение климата

“Имеются новые и более убедительные свидетельства того, что основная часть потепления, наблюдаемого в последние 50 лет, может быть отнесена к деятельности человека”.

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2001 г.

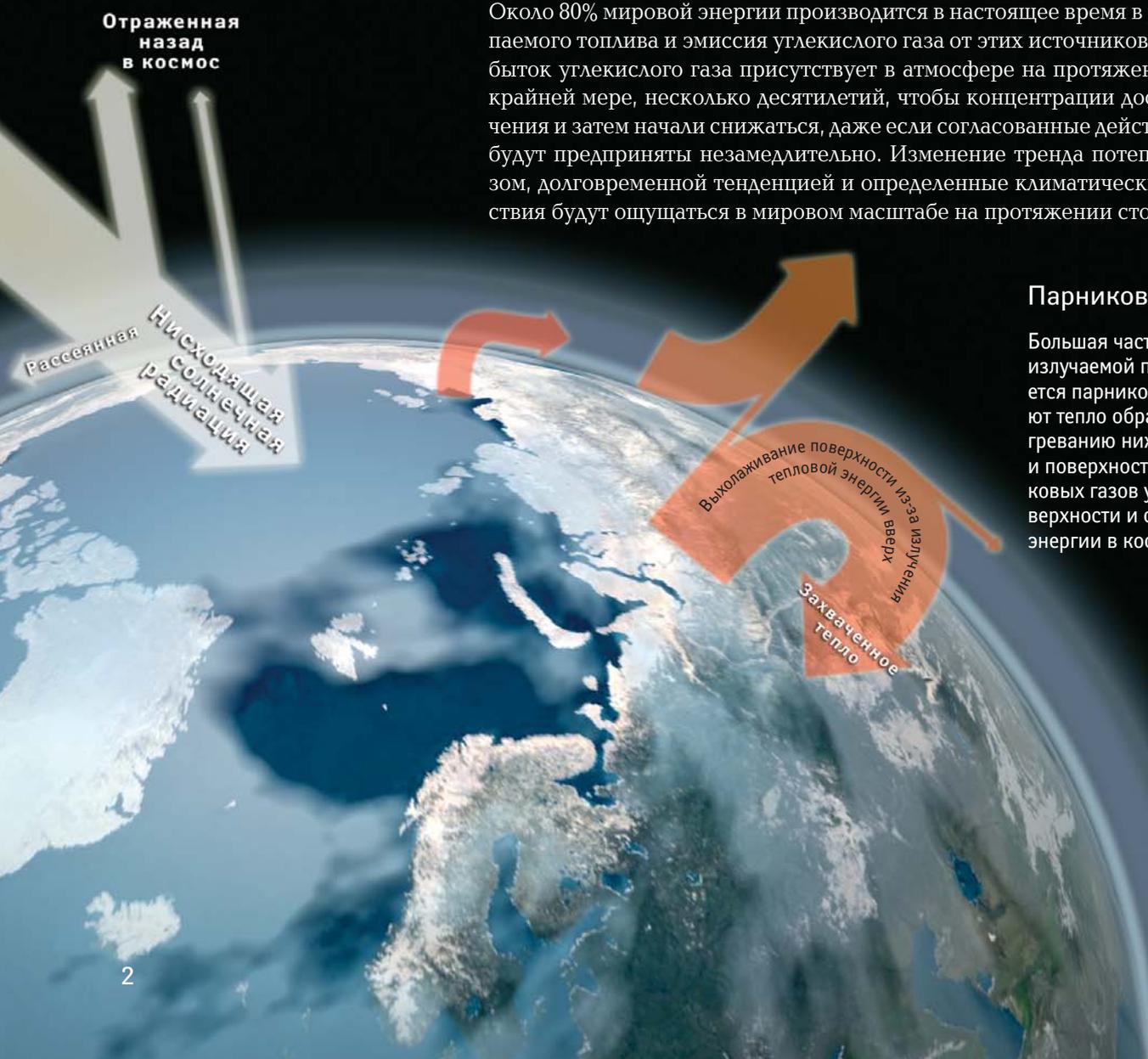
Ледовые керны и другие индикаторы климатических условий в далеком прошлом свидетельствуют, что имеется связь между ростом содержания в атмосфере углекислого газа и ростом глобальной температуры. Деятельность человека, прежде всего, сжигание ископаемого топлива (уголь, нефть и природный газ) и, во вторую очередь, сокращение лесов, приводят к росту содержания в атмосфере углекислого газа, метана и других удерживающих тепло («парниковых») газов. С начала промышленной революции концентрация углекислого газа в атмосфере увеличилась на 35%, а средняя глобальная температура выросла на 0,6°C. Международное научное сообщество пришло к согласию в том, что большая часть наблюдаемого потепления за последние 50 лет обусловлена деятельностью человека.

Продолжающееся поступление в атмосферу углекислого газа и других парниковых газов, согласно прогнозу, приведет к значительным и устойчивым изменениям климата, включая увеличение средней глобальной температуры на величину от 1,4 до 5,8°C (согласно МГЭИК) на протяжении этого столетия. Прогнозируемые изменения климата включают в себя изменения циркуляции атмосферы и океана, ускоренный рост уровня океана и большие изменения в атмосферных осадках. Совместный эффект этих изменений, согласно прогнозам, может вызвать широкий диапазон последствий, включая значительные воздействия на прибрежные сообщества, видовое разнообразие животных и растений, на здоровье человека и его благосостояние.

Около 80% мировой энергии производится в настоящее время в результате сжигания ископаемого топлива и эмиссия углекислого газа от этих источников быстро растет. Так как избыток углекислого газа присутствует в атмосфере на протяжении веков, потребуется, по крайней мере, несколько десятилетий, чтобы концентрации достигли максимального значения и затем начали снижаться, даже если согласованные действия по снижению эмиссии будут предприняты незамедлительно. Изменение тренда потепления станет, таким образом, долговременной тенденцией и определенные климатические изменения и их последствия будут ощущаться в мировом масштабе на протяжении столетий.

Парниковый эффект Земли

Большая часть тепловой энергии, излучаемой поверхностью Земли, поглощается парниковыми газами, которые излучают тепло обратно вниз, что приводит к нагреванию нижележащих слоев атмосферы и поверхности. Рост концентрации парниковых газов увеличивает нагревание поверхности и снижает потери тепловой энергии в космос.



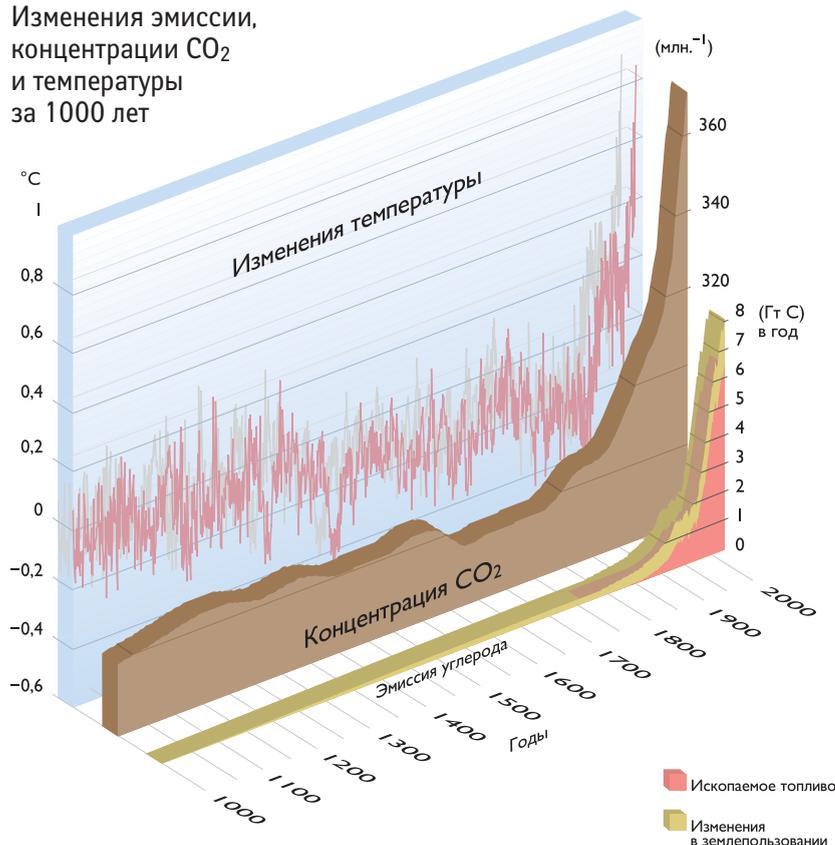
Изменение тренда потепления станет долговременной тенденцией и определенные климатические изменения и их последствия будут ощущаться в мировом масштабе на протяжении столетий.

Ученые предполагают, что для реакции на этот вызов потребуются ответные меры двух типов. Первый тип — это снижение выбросов, направленное на уменьшение скорости и величины будущего изменения климата посредством сокращения эмиссии парниковых газов. Второй — это адаптация или попытка ограничения неблагоприятных воздействий путем повышения приспособляемости к изменению климата, которое будет происходить, пока общество реализует первый вариант действий. Этот отчет не включает в себя рассмотрение ни одного из этих типов действий. Рассмотрение ответных мер должно выполняться под эгидой Рамочной конвенции по изменению климата ООН и ей подобных.

Другой проблемой является сокращение стратосферного озона

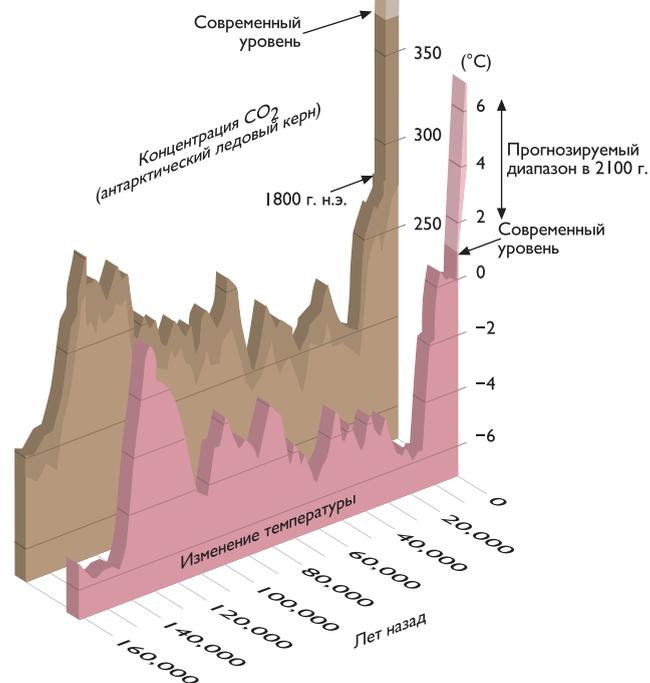
Сокращение озонового слоя под воздействием хлорфлюорокарбонатов и других химических компонентов, поступающих в атмосферу вследствие деятельности человека, представляет собой иную проблему, хотя существуют важные связи между разрушением озона и изменением климата. Например, предполагается, что изменение климата способствует запаздыванию восстановления озона над Арктикой. В данном исследовании в дополнение к основной задаче — рассмотрению последствий изменений климата — также оценены изменения стратосферного озона, последующие изменения ультрафиолетовой радиации и соответствующие последствия для Арктики. Выводы этих исследований представлены на страницах 98 — 105 настоящего отчета.

Изменения эмиссии, концентрации CO₂ и температуры за 1000 лет



Ряд за 1000 лет показывает рост эмиссии углерода вследствие деятельности человека (сжигание ископаемого топлива и сокращение лесов) и последующий рост концентрации углекислого газа в атмосфере и рост температуры воздуха. Более ранние части восстановленного ряда температуры Северного полушария получены на основе обработки исторических данных, колец деревьев, кораллов, тогда как более поздние ряды получены прямыми измерениями. Измерения углекислого газа (CO₂) в пузырьках воздуха, содержащихся в ледовых ядрах, формируют начальную часть ряда данных по CO₂, прямые измерения концентрации углекислого газа в атмосфере начались в 1957 г.

Концентрация углекислого газа в атмосфере и изменение температуры



Данный ряд иллюстрирует соотношение между температурой и концентрацией углекислого газа в атмосфере за последние 160 000 лет и в последующие 100 лет. Исторические данные получены из ледовых ядер, данные за последний период получены путем прямых измерений, а для будущих 100 лет используются модельные расчеты.

Арктический регион

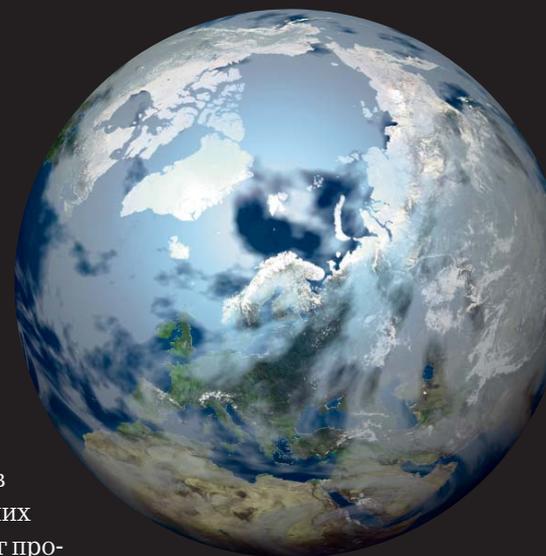
Рolaris — Полярная звезда находится почти точно над Северным полюсом. Вокруг нее расположены звезды, которые формируют созвездие Большой Медведицы. Термин Арктика происходит от древнегреческого слова *Arcticos* — страна Большой Медведицы.

Северная полярная область Земли состоит из океана, окруженного сушей, по контрасту с южной полярной областью, где покрытый льдом континент окружен океаном. Наиболее яркими ее особенностями, по-видимому, являются снег и лед, покрывающие наибольшую часть суши и поверхности моря в Арктике, особенно в высокоширотной ее части. И, как пара больших зеленых шалей, наброшенных на плечи двух, расположенных друг против друга континентов, лежат бореальные (т.е. северные) леса. Большие пространства тундры — безлесные равнины над промерзшей землей — находятся между покрытыми льдом высокими широтами и лесными районами Субарктики.

Линией, часто используемой для определения границ региона, является полярный круг, проведенный по широте, к северу от которой солнце не поднимается над горизонтом в зимнее солнцестояние и не заходит в летнее солнцестояние — "земля полуночного солнца". Другие границы, используемые для определения Арктики, включают в себя северную границу лесной зоны, границы климатических зон, границу зоны вечной мерзлоты на суше и распространения морского льда в океане. Для целей данного исследования определение границы будет более гибким, что позволит включить субарктические регионы, входящие в функционирование арктической системы.

Морские и материковые районы высоких широт Арктики являются родным домом для многих групп растений, животных и народностей, которые выживают практически в самых экстремальных условиях на планете. Все эти сообщества — от водорослей, живущих под морским льдом, или белых медведей, охотящихся на поверхности морского льда, и до коренных народностей, которые развивались в тесной связи с окружающей их природой, — уникальным образом адаптировались к тем условиям, которые многие, проживающие за пределами региона, воспринимают как крайне суровые.

Жизнь в Арктике исторически была как уязвимой, так и устойчивой. Факторы, способствующие уязвимости Арктики, включают в себя относительно короткий сезон роста и меньшее разнообразие живых организмов по сравнению с регионами умеренных широт. Климат Арктики к тому же сильно изменчив, и неожиданный летний шторм или заморозок могут уничтожить целое поколение птенцов, тысячи детенышей тюленей или сотни молодых северных оленей. Тем не менее, некоторые арктические виды также продемонстрировали замечательную устойчивость по отношению к экстремальным условиям в прошлом, что доказывается восстановлением популяций, которые время от времени сильно сокращались вследствие изменений климата.



Возрастающая скорость современного изменения климата предъявляет новые требования к устойчивости арктической жизни. Помимо воздействий климатических изменений, много других нагрузок, связанных с деятельностью человека, одновременно оказывают влияние на жизнь в Арктике, включая загрязнение воздуха и воды, чрезмерный вылов рыбы, возрастающие уровни ультрафиолетовой радиации из-за истощения озонового слоя, изменение и загрязнение среды обитания вследствие добычи ресурсов, и возрастание нагрузки на почву и ресурсы вследствие роста населения в регионе. Сумма этих факторов грозит подавить адаптационные способности некоторых арктических популяций и экосистем.

Возрастающая скорость современного изменения климата, предъявляет новые требования к устойчивости арктической жизни.



Население Арктики

Сегодня в Арктике живут почти четыре миллиона человек, причем точное их число варьируется в зависимости от того, как проводится граница. Это население включает в себя и коренное население, и тех, кто приехал недавно, охотников и пастухов, живущих среди природы, и городских жителей. Много различных групп коренных народностей проживают исключительно в Арктике, где они продолжают вести традиционный образ жизни, при этом адаптируясь к условиям современного мира. На протяжении продолжительного периода люди, чья жизнь определялась местной природной средой, были частью арктической системы, в то же время формируя ее. За несколько последних столетий приток новых жителей привел к увеличению давления на окружающую среду Арктики в связи с ростом вылова рыбы, добычи диких животных и собирательства, а также развитием промышленности.

Арктика включает часть или целые территории восьми стран: Норвегии, Швеции, Финляндии, Дании, Исландии, Канады, России и США, а также является родиной для нескольких десятков групп коренных народов, включающих в себя различные подгруппы и сообщества. Коренное население в настоящее время составляет около 10% от всего населения Арктики, хотя в Канаде коренные жители представляют около половины всего населения Арктики, а в Гренландии являются большинством. Некоренное население также включает в себя много различных народов с разным происхождением и образом жизни.

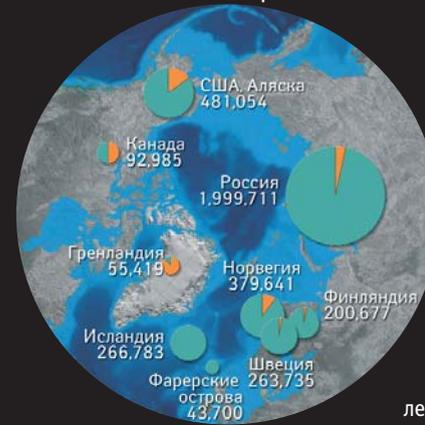
Человек живет в районах Арктики, по крайней мере, со времени максимума последнего ледникового периода, наступившего около 20 тысяч лет назад, а последние исследования подтверждают присутствие человека 30 тысяч лет назад. Предполагается, что в Северной Америке народы расселились по Арктике несколькими волнами, достигнув Гренландии 4500 лет назад и покинув этот остров около тысячи или более лет назад. Изобретения, подобные гарпуну, позволили людям охотиться на крупных морских млекопитающих и дали возможность заселять удаленные прибрежные районы, где земля могла предоставить очень скудные ресурсы. Развитие северного оленеводства в Евразии привело к существенному росту численности народов благодаря надежному источнику пищи. На протяжении тысячи лет по Евразии и через Северную Атлантику новые группы людей перемещались на север, осваивая новые земли, такие как Фарерские острова и Исландия, и вытесняя коренные народности, уже жившие в Западной Гренландии и на севере Норвегии, Финляндии и России.

В 20-м веке эмиграция в Арктику резко возросла, достигнув сегодняшнего состояния, когда в большинстве регионов некоренные жители превышают по численности коренное население. Многие эмигранты были привлечены сюда новыми перспективными возможностями, например, связанными с разработкой природных ресурсов. Конфликты за владение землей и ресурсами обострились с ростом численности населения и несовместимостью некоторых аспектов традиционных и новых укладов жизни. В Северной Америке борьба коренного населения за возвращение прав на землю и ресурсы привела к принятию соглашений по удовлетворению притязаний на землю, к созданию в пределах государств регионов со значительной степенью самоуправления и другим политическим и экономическим шагам. В некоторых областях остаются неразрешенные конфликты, особенно там, где затрагиваются права на использование жизненных и минеральных ресурсов. В Евразии, напротив, учет требований и прав коренного населения в вопросах национальной политики только начался в последние годы.

Народонаселение меняется, и северные регионы становятся экономически, политически и социально более зависимыми от национальных устремлений. За последние десятилетия требования к уровню жизни значительно возросли на большей части территории Арктики. Однако, степень использования родного языка, как преобладающего для коренного населения, снизилась в большинстве регионов, угрожая полным исчезновением некоторых языков в предстоящие десятилетия. В определенной степени снижается неравенство между северными и южными арктическими сообществами в области стандартов жизни, уровня доходов, образования, хотя в большинстве случаев разрыв остается большим.



Общее и коренное население Арктики



На диаграмме, представленной выше, оранжевый цвет показывает долю коренного населения в общем народонаселении части Арктики, входящей в страны, перечисленные выше. Числа показывают общую численность населения Арктики в каждой стране на начало 1990-х годов. Коренное население составляет примерно 10% от современного населения Арктики, хотя в Канадской Арктике коренные жители представляют около половины населения, а в Гренландии они являются большинством.

Экономика региона базируется в основном на природных ресурсах — от нефти, газа и руды до рыбы, северных оленей и оленей-карибу, китов, морских котиков, тюленей и птиц. В последние десятилетия в экономике многих сообществ и регионов Арктики появился растущий сектор туризма. Государственный сектор, включая военную промышленность, также играет значительную роль в экономике почти всех регионов Арктики, обеспечивая, в некоторых случаях, почти половину рабочих мест. Традиционное субсидирование и бартерное хозяйство, в дополнение к теневой экономике, вносят наибольший вклад в общее благосостояние частей региона, обеспечивая значительную долю, не учитываемую в официальной статистике.



Резюме

Изменение климата Арктики и его воздействия



“Уже начавшиеся климатические изменения проявляются в сокращении площади и уменьшении толщины арктического морского льда, таянии вечной мерзлоты, эрозии берегов, трансформации ледниковых щитов и шельфовых ледников и в изменениях в распределении и численности биологических видов”.

МГЭИК, 2001 г.

Климат Земли изменяется, при этом глобальная температура сейчас растет с необычной для периода существования современного человеческого общества скоростью. Изменения климата в историческом прошлом были результатом природных факторов и естественной изменчивости. Однако, величина трендов и характер изменений, наблюдающихся в последние десятилетия, показывают, что антропогенное влияние (одной из основных составляющих которого являются возрастающие эмиссии углекислого газа и других парниковых газов) становится сейчас преобладающим фактором.

Эти изменения климата особенно ощутимо проявляются в Арктике. На протяжении нескольких последних десятилетий средняя температура в этом регионе росла почти в два раза быстрее, чем средняя глобальная. Таяние ледников и морского льда и рост температуры в районах вечной мерзлоты дополнительно указывают на сильное потепление Арктики. Эти изменения в Арктике являются предупреждающим показателем значимости глобального потепления для окружающей среды и общества.

Предполагается, что в текущем столетии будет наблюдаться усиление этих климатических трендов вследствие продолжающегося роста концентраций парниковых газов в земной атмосфере. Хотя источники парниковых газов находятся, в основном, вне Арктики, предполагается, что они могут привести к целому спектру изменений и воздействий на Арктику. Изменения в Арктике, в свою очередь, окажут воздействие на планету в целом. По этой причине народы, проживающие за пределами Арктики, озабочены тем, что там происходит. К примеру, характерные для Арктики климатические процессы оказывают значительное влияние на глобальный и региональный климат. Кроме того, Арктика обеспечивает остальной мир важнейшими природными ресурсами (такими, как нефть, газ и рыба), которые будут испытывать воздействия при изменениях климата. Таяние арктических ледников также является одним из факторов, способствующих росту уровня Мирового океана.

Предполагается, что основные последствия изменений климата проявятся собственно в Арктике, причем некоторые из них уже наблюдаются. Будет ли отдельное воздействие считаться положительным или отрицательным, часто зависит от конкретных интересов. Например, очень вероятно, что сокращение морского ледяного покрова будет иметь катастрофические последствия для белых медведей, зависящих от наличия льда тюленей и коренных народностей, для которых эти животные являются основным источником пищи. С другой стороны, сокращение морского ледяного покрова, вероятно, увеличит возможность доступа по морю к ресурсам региона, расширит возможности для судоходства и, возможно, добычи нефти на шельфе (хотя в начальный период работы в некоторых районах могут быть затруднены из-за возрастания скорости дрейфа ледяных полей). Еще больше усложняет проблему возможное увеличение ущерба окружающей среде, часто сопровождающее судоходство и добычу ресурсов, которые могут нанести вред морским обитателям и отрицательно воздействовать на здоровье и традиционный образ жизни коренных народов.

Другой пример: увеличение площади лесной зоны в Арктике может привести к развитию лесной промышленности и соответствующему росту занятости населения и, в то же время, способствовать росту поглощения углекислого газа, то есть может обеспечить локальные и глобальные экономические выгоды.

С другой стороны, ускоренный рост деревьев, вероятно, может дать дополнительный вклад в региональное потепление и оказать влияние на условия обитания многих видов птиц, северных оленей, оленей-карибу и других видов, важных для местных жителей, тем самым, оказывая неблагоприятное воздействие на местное население. При более детальном рассмотрении последствий предсказывается увеличение таких негативных последствий для лесов, как пожары и вспышки численности насекомых, что может снизить ожидаемые выгоды.

Если мы не поменяем нашего направления, то мы, скорее всего, окажемся там, куда нас ведут.

Изменение климата происходит в контексте многих других изменений в Арктике, включая наблюдаемый рост химического загрязнения, проникающего в Арктику из других регионов, избыточный вылов рыбы, изменения в землепользовании, что приводит к разрушению среды обитания и ее дроблению, быстрому росту численности населения и изменениям культурных укладов, управленческих структур и экономики. Воздействия на окружающую среду и общество являются результатом не только изменения климата, но и взаимодействия всех этих изменений. В работах по программе АСИА была сделана первая попытка пролить свет на определенную часть этого комплекса проблем, однако, ограничения в существующем на сегодняшний день объеме знаний не дают возможности для проведения полного анализа всех взаимодействий и их последствий.

Одна из дополнительных нагрузок на Арктику, рассматриваемая в данном отчете, появляется в результате возрастающих уровней ультрафиолетовой радиации, достигающей земной поверхности из-за разрушения стратосферного озона. Как и в случае многих других нагрузок, упоминаемых в отчете, здесь присутствуют важные взаимосвязи между изменениями климата и истощением озонового слоя. Воздействия изменений климата на верхнюю атмосферу, вероятно, будут способствовать дальнейшему уменьшению озона над Арктикой на протяжении, по крайней мере, еще нескольких десятилетий. Таким образом, уровни ультрафиолетовой радиации, вероятно, будут оставаться повышенными, и наиболее сильно это будет проявляться весной, когда экосистемы наиболее чувствительны к негативному воздействию ультрафиолетовой радиации. Сочетание изменения климата, избытка ультрафиолетовой радиации и других нагрузок создает комплекс возможных проблем для здоровья и благосостояния человека и повышает риски для различных арктических видов и экосистем.

Воздействия изменения климата в Арктике, рассматриваемые в данном отчете, в значительной степени порождаются вне этого региона, но посредством разных механизмов скажутся на всей Земле. Научные исследования, результаты которых приводятся здесь, могут предоставить информацию для принятия решений о действиях по снижению рисков, вызываемых изменением климата. Так как скорость и пространственный масштаб изменения климата и его воздействий возрастают, для всего населения становится все более важным быть осведомленными об изменениях, происходящих в Арктике, и рассматривать их с точки зрения того, какие ответные действия следует предпринимать.

Являются ли эти воздействия неизбежными?

Концентрации углекислого газа в атмосфере, которые быстро растут вследствие деятельности человека, будут продолжать превышать естественные уровни на протяжении столетий, даже если эмиссии будут прекращены немедленно. Таким образом, определенное продолжение потепления, по-видимому, является неизбежным. Однако, скорость и величина потепления могут быть уменьшены, если будущие эмиссии будут значительно ограничены для стабилизации концентрации парниковых газов. Сценарии, разработанные МГЭИК, различные пути развития общества, при которых достигаются соответствующие правдоподобные уровни эмиссий в будущем. Ни один из этих сценариев не предполагает принятия конкретных мер по уменьшению эмиссий парниковых газов. Таким образом, в этих сценариях атмосферные концентрации не стабилизируются, а продолжают расти, приводя к значительному росту температуры и уровня моря и повсеместному изменению режима осадков. Стоимость и сложность мер по адаптации к таким изменениям, очень вероятно, со временем должны значительно вырасти.

Если общество, с другой стороны, выберет путь значительного снижения эмиссий, то соответствующие изменения климата будут меньше и будут происходить медленнее. Это не устранил все воздействия, особенно некоторые из необратимых последствий, затрагивающих отдельные виды растений и животных. Однако, это даст возможность экосистемам и сообществам людей как целым легче адаптироваться с учетом снижения глобальных последствий и затрат. Воздействия, рассматриваемые в данной оценке, предполагают продолжение роста эмиссии парниковых газов. Хотя будет очень сложно ограничить в ближайшем времени последствия выбросов парниковых газов, произошедших в прошлом, многие долгосрочные воздействия могут быть значительно ослаблены путем снижения глобальной эмиссии на протяжении этого столетия. В работах по программе АСИА не проводилось анализа стратегий для достижения такого снижения, поскольку это является предметом усилий других организаций.



Ключевые выводы

Арктика очень чувствительна к наблюдаемому и прогнозируемому изменению климата и его воздействиям. В настоящее время в Арктике происходит одно из самых быстрых и существенных изменений климата на Земле. Ожидается, что на протяжении последующих ста лет изменение климата будет происходить быстрее, оказывая влияние на основные физические, экологические, социальные и экономические изменения, многие из которых уже наблюдаются. Изменения арктического климата окажут также воздействие на остальной мир, обуславливая увеличение глобального потепления и повышение уровня моря.

1. Арктический климат сейчас быстро теплеет, и прогнозируются гораздо более значительные изменения.

- В последние несколько десятилетий среднегодовая температура в Арктике росла почти в два раза быстрее, чем в остальном мире, с некоторыми различиями по региону.
- Дополнительным свидетельством потепления Арктики является повсеместное таяние ледников и морского льда и сокращение снежного сезона

- Согласно модельным оценкам, в последующие сто лет рост глобальных концентраций углекислого газа и других парниковых газов вследствие деятельности человека (в первую очередь сжигания ископаемого топлива) добавочно внесет вклад в потепление Арктики на 4–7°C.
- Рост количества осадков, более короткие и теплые зимы, значительное сокращение снежного и ледового покрова относятся к прогнозируемым изменениям, которые, очень вероятно, будут продолжаться на протяжении столетий.
- Возможны также неожиданные и очень значительные климатические сдвиги и флуктуации.

2. Потепление Арктики и его последствия оказывают влияние на весь мир.

- Таяние арктического снега и льда, обладающих высокой отражающей способностью, открывает более темные поверхности суши и океана, увеличивая поглощение солнечной радиации и вызывая дальнейшее нагревание планеты.
- Таяние ледников и увеличение стока рек приносят в океан больше пресной воды, повышая уровень Мирового океана и, возможно, замедляя циркуляцию океана,

которая приносит тепло из тропиков к полюсам, что оказывает влияние на глобальный и региональный климат.

- Очень вероятно, что потепление окажет влияние на процессы эмиссии и поглощения парниковых газов почвой, растениями и прибрежной зоной океана.
- Последствия изменения климата повлияют на биоразнообразие во всем мире, так как мигрирующие виды зависят от районов размножения и кормления, находящихся в Арктике.

3. Очень вероятно, что произойдет сдвиг зон вегетации в Арктике, что вызовет широкомасштабные последствия.

- Ожидается, что граница лесной зоны переместится к северу, а в горах — на большую высоту, лес вытеснит значительные участки тундры, а растительность тундры будет перемещаться в полярные пустыни.
- Большое количество зеленой массы, вероятно, приведет к увеличению поглощения углерода, хотя понижение отражающей способности земной по-

верхности, вероятно, перевесит этот эффект, вызывая дальнейшее потепление.

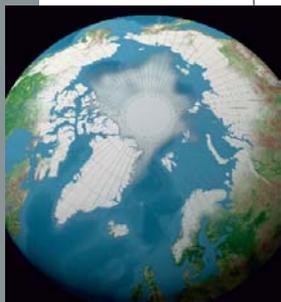
- Бедствия, такие как вспышки численности насекомых и лесные пожары, очень вероятно, станут более частыми, суровыми и продолжительными, облегчая вторжение других биологических видов.
- Там, где есть подходящие почвы, сельское хозяйство получит возможность распространяться на север вследствие увеличения и потепления сезона вегетации.

4. Разнообразие видов животных, границы зон обитания и распределения будут изменяться.

- Уменьшение количества морского льда радикально сократит морскую среду обитания для белых медведей, живущих на льду тюленей и некоторых видов морских птиц, приводя отдельные виды на грань вымирания.
- Северные олени и другие животные суши, вероятно, будут испытывать растущий стресс, так как изменение климата приведет к изменению доступа к источникам пищи, районам разведения и историческим миграционным путям.
- Согласно прогнозам, границы распространения видов передвинутся к северу, как на суше, так и на

море, так что в Арктику придут новые виды, тогда как некоторые виды, обитающие там сейчас, будут резко ограничены.

- С приходом новых видов животных новые заболевания, которые могут передаваться человеку (например, лихорадка Западного Нила) вероятно, увеличат риск для здоровья человека.
- Вероятно, вырастет продуктивность некоторых арктических морских рыбных промыслов, имеющих как мировое значение, так и обеспечивающих основной вклад в экономику региона. Вероятно, пострадают пресноводные районы рыбного промысла на севере, являющиеся основой местного рациона питания.



5. Многие сообщества и объекты хозяйственной деятельности в прибрежной зоне столкнутся с ростом воздействия штормов.

- Интенсивная береговая эрозия станет серьезной проблемой, так как рост уровня моря и уменьшение количества морского льда позволят более высоким волнам и штормовым нагонам достигать берега.
- Вдоль некоторых участков береговой линии Аркти-

ки таяние вечной мерзлоты ослабит прибрежные участки земли, увеличивая их уязвимость.

- Риск наводнений в прибрежных заболоченных территориях, согласно прогнозам, возрастет, что затронет население и природные экосистемы.
- В некоторых случаях население и промышленные объекты в прибрежных зонах уже испытали эту угрозу: многие были вынуждены переехать, а другие стоят перед лицом растущих рисков и затрат.

6. Очень вероятно, что сокращение морского льда приведет к росту морских перевозок и облегчит доступ к ресурсам.

- Очень вероятно, что сокращение морского льда продлит сезон навигации и облегчит доступ к природным ресурсам Арктики.
- Сезонное открытие Северного морского пути, вероятно, сделает трансарктическое судоходство летом возможным через несколько десятилетий. Рост под-

вижности льда в узкостях на трассе может в первое время затруднить судоходство.

- Сокращение морского льда, вероятно, приведет к росту добычи нефти и газа на шельфе, хотя рост подвижности льда может затруднить некоторые операции.
- С ростом доступа к территориям с моря, вероятно, возникнут проблемы суверенности и защищенности, а также социальные и культурные проблемы и проблемы окружающей среды.

7. Таяние грунта приведет к разрушению дорог, строений и других объектов инфраструктуры.

- Транспорт и промышленность, включая нефтегазовую и лесную, значительно пострадают из-за сокращения периодов, когда реки, озера и тундра достаточно замерзают для перевозок.
- По мере таяния мерзлого грунта здания, дороги, трубопроводы, аэропорты и другие объекты, вероят-

но, будут разрушаться, требуя ремонта, обслуживания и финансовых вложений.

- Будущее развитие потребует новых подходов к проектированию для учета эффектов потепления, что увеличит строительные и эксплуатационные затраты.
- Деграляция вечной мерзлоты окажет влияние на экосистемы, приводя к провалам грунта, осушению озер, заболачиванию и заваливанию деревьев в некоторых регионах.

8. Коренные народы столкнутся с серьезными воздействиями на экономику и культуру.

- Многие коренные народы зависят от охоты на белых медведей, моржей, тюленей и оленеводства, рыболовства и собирательства, которые служат не только источниками пищи и поддержания хозяйства, но и основой культурной и социальной идентификации.
- Изменения границ распространения видов, возможностей их использования и доступа к ним, ухудшение

прогнозов погоды и снижение безопасности перемещений при изменении параметров льда и погодных условий увеличивают риски и даже, возможно, создают угрозы существованию некоторых культур.

- Наблюдения коренных жителей дают важные сведения об изменениях климата. Вместе с результатами научных исследований они показывают, что существенные изменения уже начались.

9. Повышенная ультрафиолетовая радиация окажет воздействие на население, растения и животных.

- В ближайшие десятилетия не предвидится сильного восстановления слоя озона над Арктикой из-за влияния парниковых газов на температуру стратосферы. Согласно оценкам, в ближайшие десятилетия УФ радиация в Арктике будет оставаться повышенной.
- Современная молодежь, вероятно, получит в течение жизни в Арктике дозу УФ примерно на 30% большую, чем предыдущие поколения. Высокие уровни УФ мо-

гут вызывать рак кожи, катаракту и нарушения иммунитета человека.

- Повышенная УФ радиация может нарушать процессы фотосинтеза в растениях и негативно влиять на рыб и амфибий на ранних стадиях жизни.
- Вероятны риски для некоторых видов, так как наибольший рост УФ радиации бывает весной, когда они наиболее уязвимы. Уменьшение из-за потепления снежного и ледового покровов увеличит подверженность влиянию УФ радиации видов, обычно защищенных этими покровами.

10. Многочисленные влияющие факторы взаимодействуют между собой, порождая воздействие на население и экосистемы.

- Изменения климата наблюдаются при наличии других нагрузок, включая химическое загрязнение, избыточный вылов рыбы, изменения в землепользовании, фрагментизация районов обитания, рост численности населения и изменения в культурном укладе и экономике.

Многочисленные нагрузки могут объединяться, что усиливает воздействие на население и на экосистемы. Часто общее воздействие может превышать сумму отдельных воздействий, например, при совместном эффекте загрязнения, избытка УФ радиации и потепления климата.

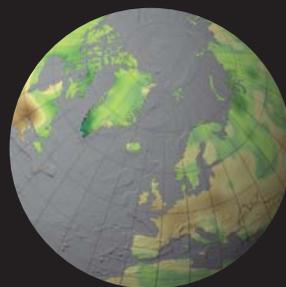
- Уникальные условия, сложившиеся в арктических регионах, определяют, какие нагрузки являются наиболее значительными и как они взаимодействуют.

Климатические тренды в Арктике

Потепление в Арктике вызывает изменения почти во всех частях природно-климатической системы. Некоторые из этих изменений перечислены ниже и более детально рассматриваются далее в отчете.

Рост температуры

В последние десятилетия в большей части Арктики температура резко выросла, особенно в зимний сезон. Зимнее потепление на Аляске и в Западной Канаде составило около 3–4°C за последние 50 лет. Еще более значительное потепление прогнозируется на это столетие.



Рост количества осадков

Количество осадков в Арктике выросло, в среднем, примерно на 8% за последние 100 лет. Больше всего увеличились осадки в виде дождя, с максимальным ростом осенью и зимой. Предполагается, что еще более значительный рост количества осадков произойдет в следующие 100 лет.

Увеличение стока рек

За последние несколько десятилетий сток рек в океан вырос почти во всей Арктике, а весенний максимум стока рек сейчас наблюдается в более ранние сроки. Предполагается, что скорость этих изменений возрастет.



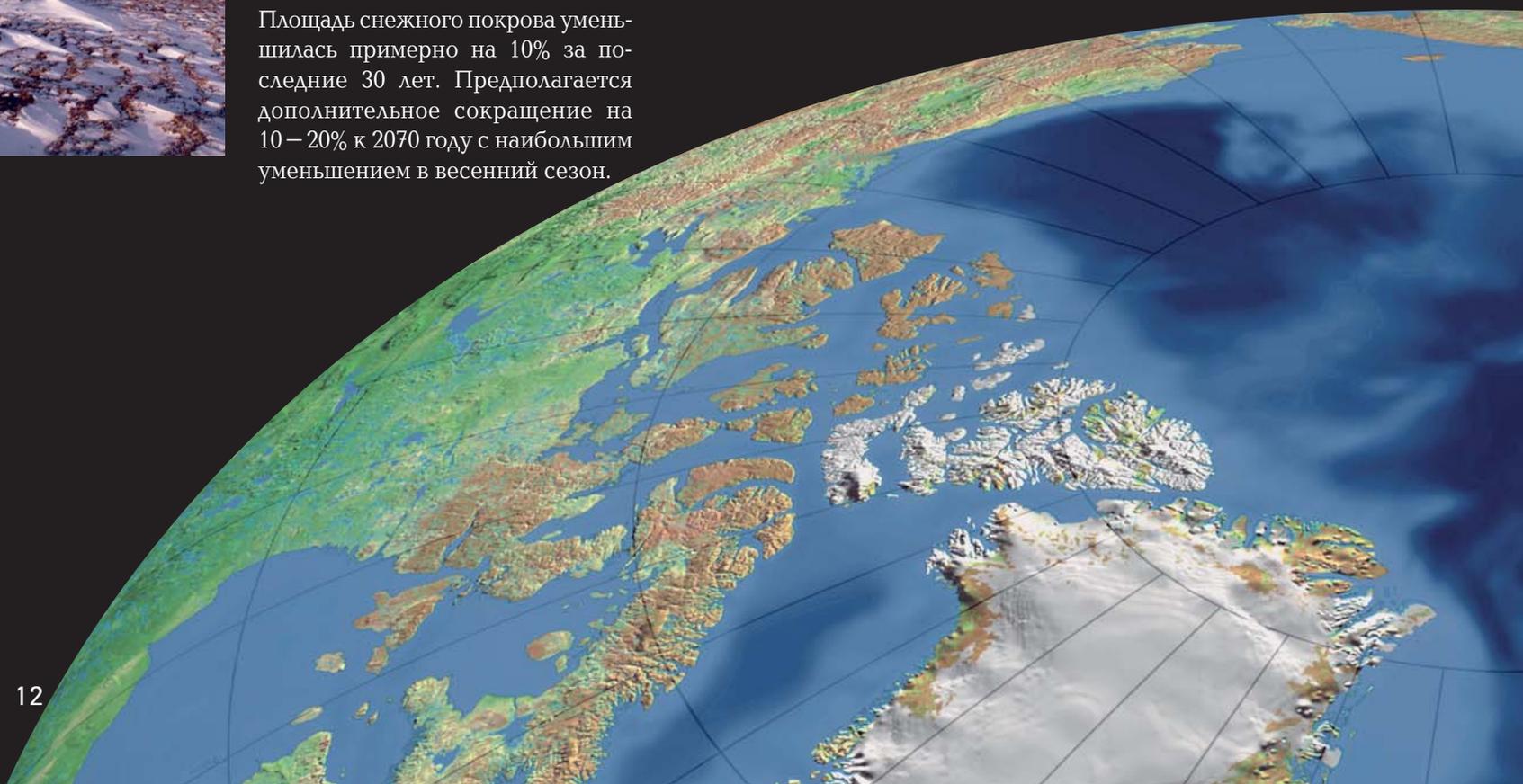
Таяние вечной мерзлоты

За последние десятилетия вечная мерзлота потеплела на величину до 2°C, и глубина слоя ежегодного протаивания растет во многих районах. Южная граница вечной мерзлоты в этом столетии, согласно прогнозам, сместится к северу на несколько сотен километров.



Сокращение снежного покрова

Площадь снежного покрова уменьшилась примерно на 10% за последние 30 лет. Предполагается дополнительное сокращение на 10–20% к 2070 году с наибольшим уменьшением в весенний сезон.





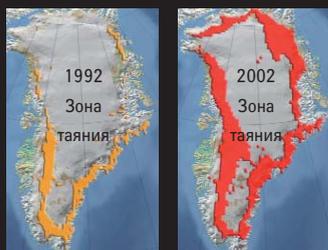
Сокращение ледового покрова на озерах и реках

Более позднее замерзание и более раннее вскрытие льда на реках и озерах приводят к сокращению сезона ледостава на период от одной до трех недель в некоторых регионах. Наиболее значительные тренды наблюдаются в Северной Америке и Западной Евразии.



Таяние ледников

Ледники тают во всей Арктике. Наиболее быстрое отступление ледников Аляски составляет, по оценкам, примерно половину потерь массы ледниками во всем мире и формирует наибольший вклад от таяния ледников в наблюдаемое повышение уровня моря.



Таяние Гренландского ледникового щита

Область Гренландского ледникового щита, где происходит таяние, увеличилась примерно на 16% с 1979 по 2002 год. Размеры области таяния в 2002 году побили все рекорды предыдущих лет.



Отступление летней границы морского льда

Средняя площадь морского ледяного покрова в летний сезон уменьшилась на 15–20% за последние 30 лет. Ожидается, что это сокращение ускорится до почти полного исчезновения морского льда летом, прогнозируемого к концу этого века.

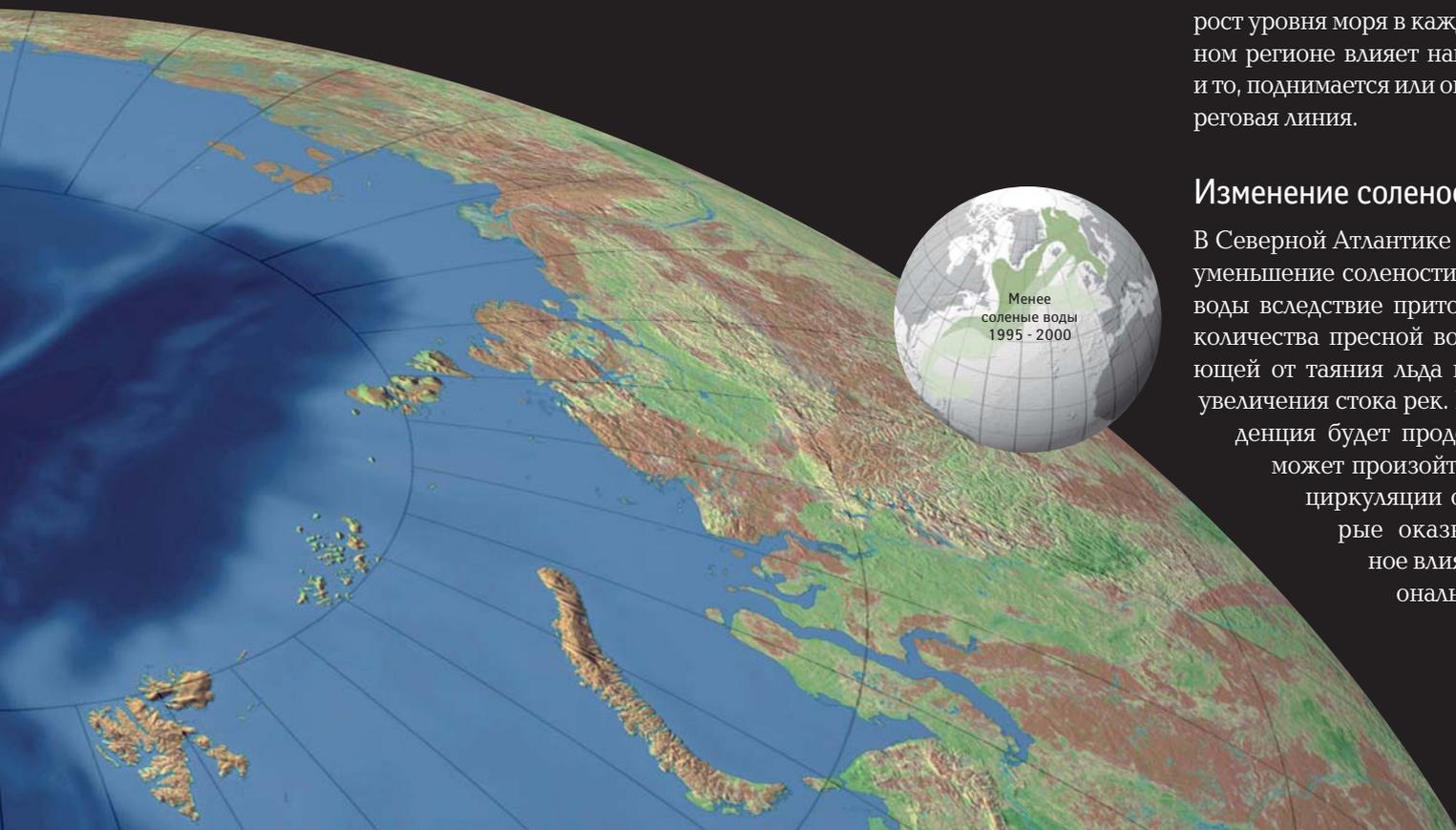
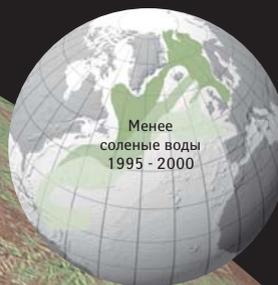


Рост уровня моря

За последние 100 лет уровень Мирового океана и уровень арктических морей выросли на 10–20 см. Прогнозируется, что в течение этого столетия произойдет дополнительный подъем уровня моря на полметра (в диапазоне от 10 до 90 см). Предсказывается, что подъем уровня моря в Арктике будет превосходить среднеглобальный. На относительный рост уровня моря в каждом конкретном регионе влияет наклон берегов и то, поднимается или опускается береговая линия.

Изменение солёности океана

В Северной Атлантике наблюдается уменьшение солёности и плотности воды вследствие притока большего количества пресной воды, поступающей от таяния льда и вследствие увеличения стока рек. Если эта тенденция будет продолжаться, то может произойти изменение циркуляции океана, которые оказывают сильное влияние на региональный климат.



Воздействия на природные комплексы

Климатические тренды, описанные на предыдущих страницах, влияют на природные экосистемы. Некоторые из этих воздействий перечислены ниже и более детально рассматриваются в данном отчете.

Изменения заболоченных земель

Таяние вечной мерзлоты приведет к осушению озер и болот в некоторых регионах, тогда как в других местах образуются новые заболоченные территории. Баланс этих изменений не известен, но так как пресноводная среда обитания в результате будет изменена, то вероятны перемещения основных биологических видов.

Изменения границ зон растительности

Прогнозируется, что растительные зоны сдвинутся к северу, лесная зона распространится в тундру, а тундра продвинется в полярные пустыни. Вероятно, количество и качество почв станет ограничивающим фактором и замедлит это продвижение в некоторых районах.

Увеличение вероятности пожаров и нашествий насекомых

Согласно прогнозу, частота и интенсивность таких явлений, как лесные пожары и вспышки численности насекомых, а также других опасных явлений, возрастет. Эти явления могут привести к вторжению в районы обитания инородных видов.



Перемещение видов к северу

Согласно прогнозам, границы распространения многих видов растений и животных сдвинутся к северу, что вызовет рост числа видов в Арктике. Вероятно, сильно сократится численность некоторых арктических видов, в настоящее время широко распространенных.



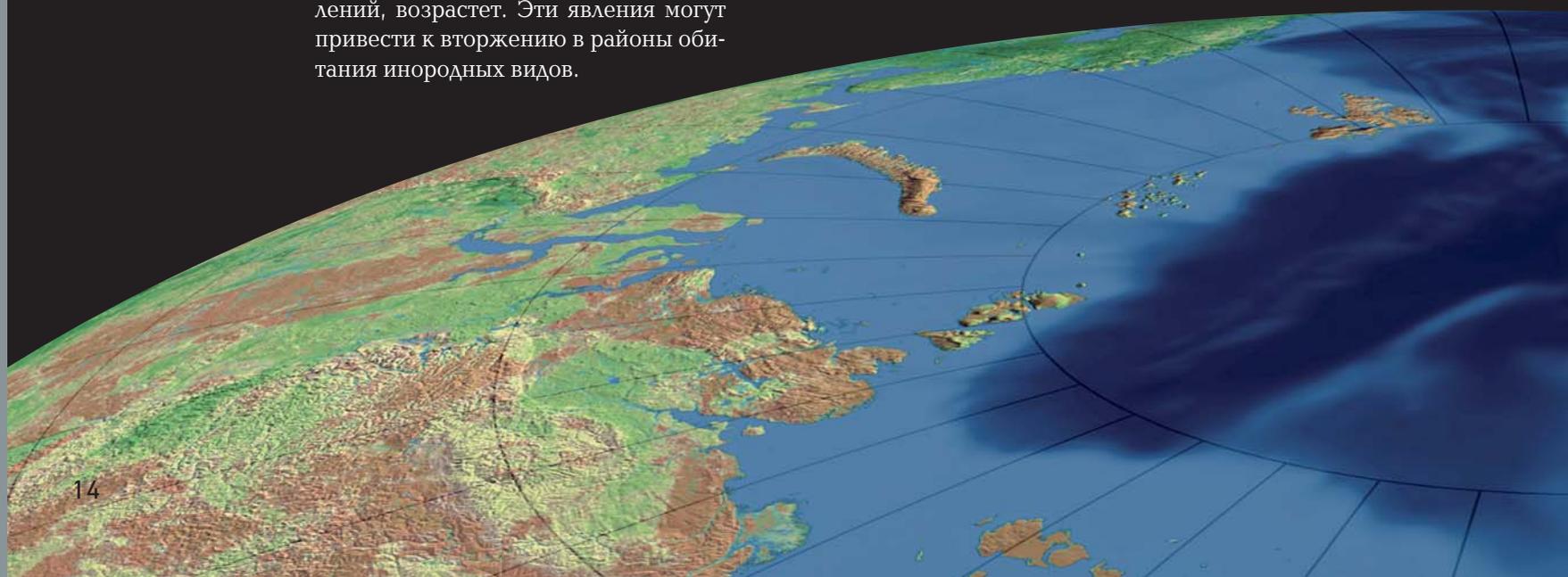
Риски для морских видов

Очень вероятно, что снизится численность морских видов, зависящих от морского льда, в том числе белых медведей, живущих на льду тюленей, моржей и некоторых видов морских птиц; отдельные виды могут оказаться на грани вымирания.



Риски для материковых видов

Виды, специфически адаптировавшиеся к условиям арктического климата, включая многие виды мхов и лишайников, леммингов, полевок, песцов и снежных сов, находятся в условиях повышенного риска.





Воздействие ультрафиолета

Рост ультрафиолетовой радиации у земной поверхности в результате разрушения стратосферного озонового слоя и уменьшения снежного и ледяного покровов в весенний период, окажет воздействие на экосистемы на суше и в воде.



Потери старого леса

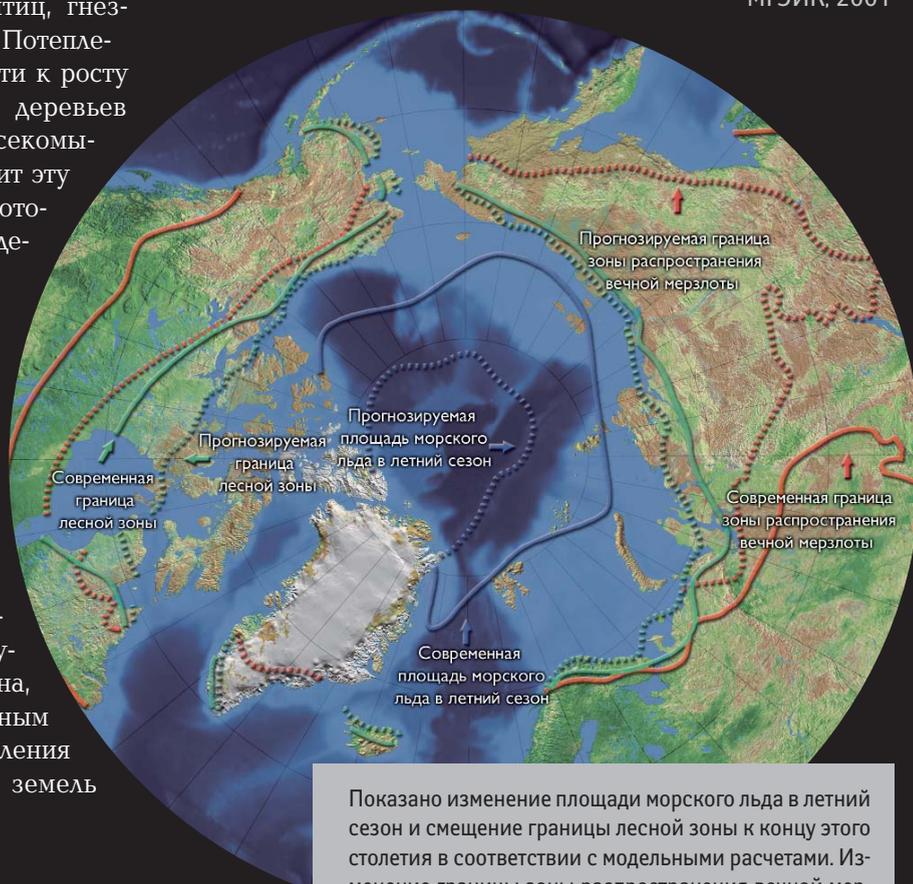
Старый лес богат многими видами лишайников, мхов, споровых, насекомых, дятловых, а также птиц, гнездящихся в дуплах деревьев. Потепление климата может привести к росту числа пожаров, гибели деревьев вследствие поражения насекомыми, что еще больше сократит эту ценную среду обитания, которая уже сокращается из-за деятельности человека.



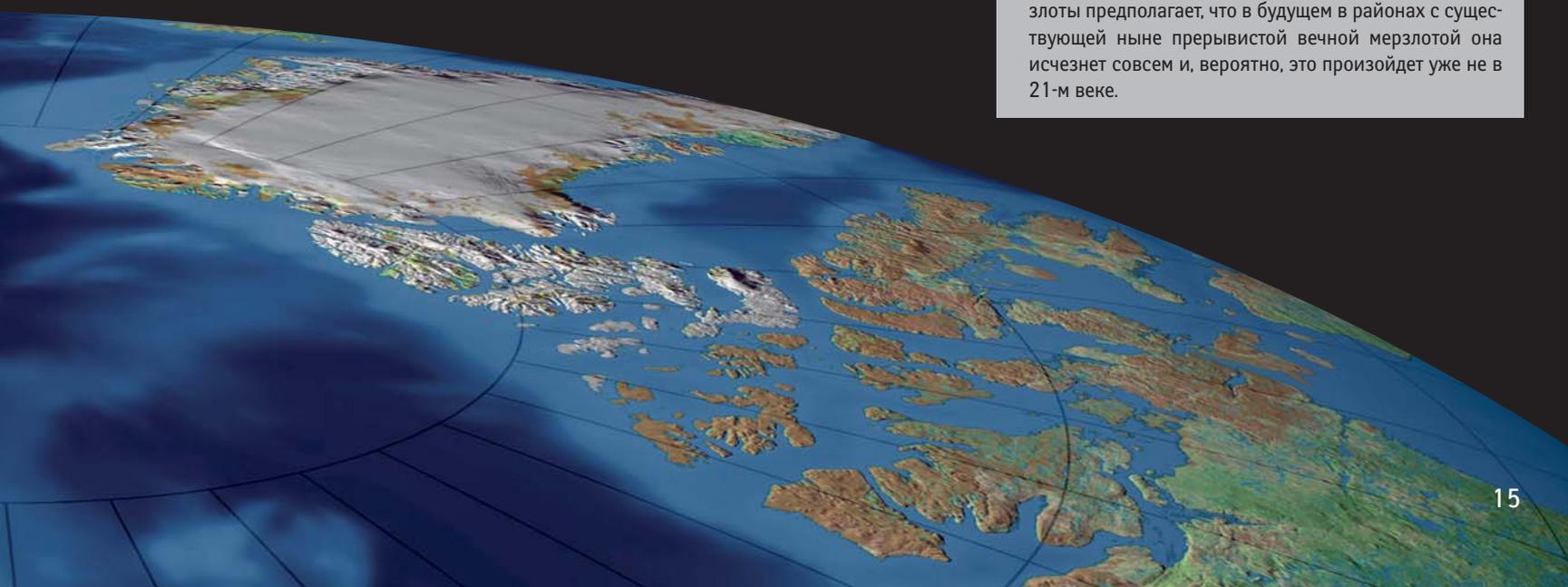
Изменения углеродного цикла

Замена арктической растительности более продуктивными видами, распространяющимися с юга, вероятно, со временем, приведет к росту поглощения углекислого газа. С другой стороны, эмиссия метана, вероятно, возрастет, главным образом, вследствие потепления в районах заболоченных земель и таяния вечной мерзлоты.

“Ожидается, что изменение климата в полярных областях будет наиболее значительным и будет происходить быстрее, чем в других регионах Земли, это изменение станет причиной основных природных, экологических, социальных и экономических воздействий, особенно в Арктике...”
МГЭИК, 2001



Показано изменение площади морского льда в летний сезон и смещение границы лесной зоны к концу этого столетия в соответствии с модельными расчетами. Изменение границы зоны распространения вечной мерзлоты предполагает, что в будущем в районах с существующей ныне прерывистой вечной мерзлотой она исчезнет совсем и, вероятно, это произойдет уже не в 21-м веке.



Воздействия на общество

Согласно оценкам, изменения климата и природных комплексов, упомянутые выше, приведут к многочисленным воздействиям на общество во всем Арктическом регионе.



Утрата культуры охоты

Для инуитов потепление, вероятно, приведет к деградации и даже уничтожению их культуры охоты и питания, так как сокращение морского льда приведет к сокращению численности животных, от которых они зависят, ограничению к ним доступа и, возможно, вымиранию этих животных.



Снижение безопасности питания

Доступ к традиционным видам пищи, включая тюленей, белых медведей, оленей и некоторых видов рыб и птиц, может быть серьезно нарушен вследствие потепления климата. Снижение качества источников пищи, например, появление больной рыбы и уменьшение урожайности ягод, уже наблюдаются в некоторых районах. Сдвиг к более западному образу питания ведет к увеличению риска диабета, тучности и сердечно-сосудистых заболеваний.



Проблемы здоровья человека

Проблемы здравоохранения включают растущее число несчастных случаев вследствие изменения окружающей среды, такого, как уменьшение толщины морского льда. Проблемы со здоровьем возникают также из-за неблагоприятных воздействий таяния вечной мерзлоты на санитарную инфраструктуру.



Воздействия на стада оленей

Из-за изменения климата стада северных оленей столкнутся с рядом перемен. Например, вследствие изменения параметров снежного покрова и речного льда изменятся маршруты миграций, районы отела и доступность кормов. Тем самым будут затронуты интересы населения, зависящего от охоты на оленей и их разведения.



Развитие морского судоходства

Судоходство по ключевым морским путям, включая Северный морской путь и Северо-Западный проход, вероятно, возрастет. Согласно прогнозам, вследствие сокращения морского льда сезон летней навигации значительно удлинится на протяжении этого столетия. Вероятно, будет развиваться туризм и морские перевозки грузов.





Облегчение доступа к ресурсам

Доступ по морю к некоторым ресурсам Арктики, включая месторождения нефти, газа и ряда других минеральных ресурсов шельфа, вероятно, будет облегчен вследствие сокращения площади морского льда, что предоставит как новые возможности, так и создаст проблемы для окружающей среды. Возросшая скорость дрейфа ледяных полей может затруднить некоторые операции на начальном этапе.



Развитие морских рыбных промыслов

С потеплением климата ряд основных рыбных промыслов Арктики, включая вылов сельди и трески, вероятно, станут более продуктивными. Районы обитания и пути миграции многих видов рыбы, вероятно, изменятся.



Разрушение сухопутных транспортных путей

Маршруты перевозок и трубопроводы, проходящие по суше, в некоторых районах уже начинают разрушаться вследствие оттаивания грунта, и эта проблема, вероятно, будет усугубляться. Добыча нефти и газа и лесозаготовки будут периодически прерываться из-за сокращения периода, когда зимники и тундра достаточно промерзнут, чтобы осуществлять промышленные перевозки. Также будут затронуты интересы северных сообществ, которые зависят от наличия замерзших транспортных путей для перевозки необходимых запасов.



Сокращение северных промыслов пресноводных рыб

Согласно прогнозам, в этом столетии произойдет снижение численности и гибель в локальном и глобальном масштабах отдельных видов рыбы, адаптировавшихся к условиям проживания в Арктике. Арктический голец, сиговые, арктический омуль, являющиеся главными составляющими рациона коренных народов, находятся среди видов, которым угрожает уничтожение вследствие потепления климата.



Развитие сельского хозяйства и лесной промышленности

Возможности для развития сельского хозяйства и лесной промышленности, вероятно, возрастут, так как районы, подходящие для производства продуктов питания и леса могут продвинуться на север вследствие более длинного и теплого сезона вегетации и увеличения количества осадков.

Обзор регионов

В такой протяженной и разнообразной по природным условиям области как Арктика наблюдаются значительные региональные вариации климата. Потепление последнего времени в одних областях выражено значительно сильнее, чем в других. В некоторых местах, например, районах Канады и Гренландии, окружающих Лабрадорское море, не отмечено потепления, которое происходит в остальной Арктике – там похолодало. Также, согласно прогнозам, будут иметь место региональные отклонения и в будущем изменении климата. Локальные особенности природы и сообществ также способствуют появлению различий, на фоне которых будут проявляться воздействия – разные для разных регионов.

Для выполнения данной оценки было выделено четыре региона. В данном отчете рассмотрены избранные воздействия в каждом из этих регионов. Здесь не приведены ни исчерпывающая оценка воздействий изменения климата в данных районах, ни оценка того, какие воздействия являются наиболее значительными. Это, скорее, набор наиболее важных примеров, которые были получены в работах по программе АСИА. Дальнейшие подробности можно найти на страницах 114 – 121 данного отчета.

Некоторые воздействия являются важными для всех регионов, но во избежание повторов, они не обсуждаются отдельно для каждого из них. Другие оценочные отчеты (подготовка некоторых уже начата) будут рассматривать воздействия некоторых видов деятельности, например, добычи нефти, в этих регионах Арктики

При определении воздействий в регионах оценки будущих изменений климата были предварительно получены из расчетов по глобальным климатическим моделям. Когда региональные климатические модели станут совершеннее и доступнее для широкого круга исследователей, прогнозы будущих изменений могут стать более детальными, учитывающими местные особенности изменений. Для данного отчета варианты изменения климата и их воздействия следует рассматривать в достаточно крупном региональном масштабе, так как они становятся менее определенными и не учитывающими локальных особенностей при переходе к меньшим масштабам.

Регион 1 Восточная Гренландия, Исландия, Норвегия, Швеция, Финляндия, Северо-Западный регион России и прилегающие моря

Окружающая среда Очень вероятно, что с исчезновением зоны тундры в некоторых районах материка произойдет перемещение к северу границ распространения видов растений и животных. Прибрежные низменности по мере роста уровня моря и отступления морского льда с высокой вероятностью будут подвергаться затоплению при штормах.

Экономика Доступ по морю к нефти, газу и минеральным ресурсам, вероятно, станет легче с отступлением морского льда. В Северной Атлантике и Арктике, вероятно, произойдет рост продуктивности рыбных промыслов, основанных на традиционных видах рыбы, а также вследствие появления здесь более южных видов.

Жизнь людей На северное оленеводство, вероятно, окажет неблагоприятное влияние сокращение и изменение параметров снежного покрова. Традиционные виды охоты, вероятно, станут более рискованными и менее предсказуемыми. Вероятно появление болезней животных, которые могут передаваться человеку.

Регион II

Сибирь и прилегающие моря

Окружающая среда С потеплением климата, вероятно, сильно изменятся леса, произойдет оттаивание вечной мерзлоты, возрастет число пожаров и вспышек численности насекомых. Очень вероятно, что во многих районах леса и зоны кустарников вытеснят тундру. Зоны обитания некоторых видов растений и животных сместятся к северу. Увеличится сток рек.

Экономика Очень вероятно, что отступление морского льда приведет к удлинению сезона навигации по Северному морскому пути, что даст как новые экономические возможности, так и приведет к появлению опасности загрязнения. Вероятно, будет облегчен доступ к шельфовым месторождениям нефти и газа, но отдельные виды деятельности могут быть осложнены вследствие роста волнового воздействия.

Жизнь людей Таяние вечной мерзлоты уже привело к серьезным повреждениям строений и промышленных объектов, и согласно прогнозам, это будет происходить и дальше. Сокращение периода ледостава на реках и оттаивание вечной мерзлоты, вероятно, нарушат миграционные пути северных оленей, затрагивая традиционные уклады жизни коренных народов.

Регион III

Чукотка, Аляска, Западная Канадская Арктика и прилегающие моря

Окружающая среда Биологическое разнообразие в данном регионе наиболее подвержено риску вследствие изменения климата, так как в настоящее время этот регион является местом обитания для наибольшего числа видов растений и животных Арктики, находящихся под угрозой вымирания. Прогнозируется рост числа лесных стихийных бедствий вследствие пожаров и размножения насекомых. Низко расположенные прибрежные зоны будут чаще подвергаться затоплению.

Экономика Таяние вечной мерзлоты и эрозия берегов нанесут ущерб объектам инфраструктуры. Сокращение морского льда увеличит возможность доступа по морю к северному побережью. Оттаивание грунта помешает зимним перевозкам по суше. Традиционные местные хозяйственные уклады, основанные на ресурсах, чувствительных к изменениям климата (таких, как белые медведи и кольчатая нерпа), очень вероятно, будут нарушены вследствие потепления.

Жизнь людей Очень вероятно, что эрозия берегов вследствие сокращения морского льда, роста уровня моря и оттаивания вечной мерзлоты приведет к переносу одних поселений и увеличению нагрузок для других. Сокращение численности видов, зависящих от присутствия льда, и растущие риски для охотников угрожают безопасности пищевых ресурсов и традиционным укладам жизни коренных народов.

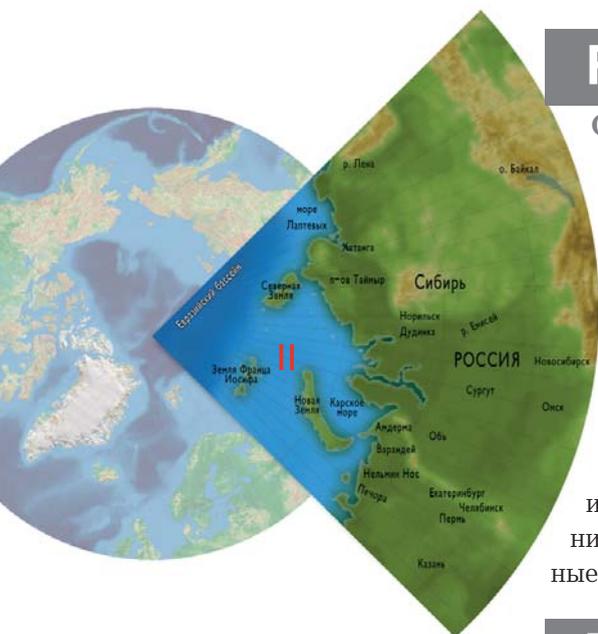
Регион IV

Центральная и Восточная части Канадской Арктики, Западная Гренландия и прилегающие моря

Окружающая среда Гренландский ледниковый щит, вероятно, продолжит таять с рекордной скоростью, изменяя местную окружающую среду и способствуя росту уровня Мирового океана. Вследствие роста уровня моря и штормовых нагонов прибрежные низменности будут подвержены более частым затоплениям.

Экономика Сокращение морского льда, вероятно, будет способствовать увеличению судоходства по Северо-Западному проходу, предоставляя новые экономические возможности и одновременно увеличивая опасность загрязнения из-за разливов нефти и других подобных случаев. В регионе могут появиться более южные виды рыб, такие как пикша, сельдь и голубой тунец. Популяции озерной форели и других пресноводных видов рыб будут сокращаться, что окажет влияние как на местные источники питания, так и на спортивное рыболовство и туризм.

Жизнь людей Перед некоторыми коренными народами, особенно инуитами, встает серьезная угроза безопасности их источников пищи и культуре охоты вследствие того, что сокращение морского льда и другие изменения, вызванные потеплением климата, затрудняют как существование традиционных объектов охоты и рыболовства, так и доступ к ним. Рост уровня моря и штормовые нагоны могут стать причиной переселения некоторых сообществ, проживающих в прибрежных низменностях, что вызовет значительные социальные последствия.



Почему потепление в Арктике происходит быстрее, чем в более низких широтах?

Во-первых, поскольку арктические снег и лед тают, более темные поверхности суши и океана будут поглощать больше солнечной энергии, увеличивая потепление Арктики. Во-вторых, в Арктике большая часть дополнительной энергии, приходящей к поверхности вследствие роста концентрации парниковых газов, идет непосредственно на нагревание атмосферы, тогда как в тропиках большая часть затрачивается на испарение. В-третьих, толщина слоя атмосферы, который должен нагреться, чтобы обеспечить прогрев воздуха вблизи поверхности, гораздо меньше в Арктике, чем в тропиках, что приводит к более значительному росту температуры в Арктике. В-четвертых, так как потепление приводит к сокращению площади морского льда, солнечное тепло, поглощаемое океаном в летний сезон, более легко передается в атмосферу зимой, приводя к более значительному, чем прежде, росту температуры воздуха. Наконец, поскольку тепло переносится в Арктику как атмосферой, так и океанами, изменение структуры атмосферной и океанической циркуляции также может привести к усилению потепления Арктики.

1. Так как снег и лед тают, то более темные поверхности суши и океана поглощают больше солнечной энергии.

2. Больше дополнительной энергии, оставшейся в атмосфере Земли благодаря парниковым газам, затрачивается непосредственно на нагревание, а не на испарение.

3. Толщина слоя атмосферы, который должен нагреться, чтобы нагреть поверхность, в Арктике меньше.

4. Так как протяженность морского льда сокращается, солнечное тепло, поглощенное океанами, более легко передается в атмосферу.

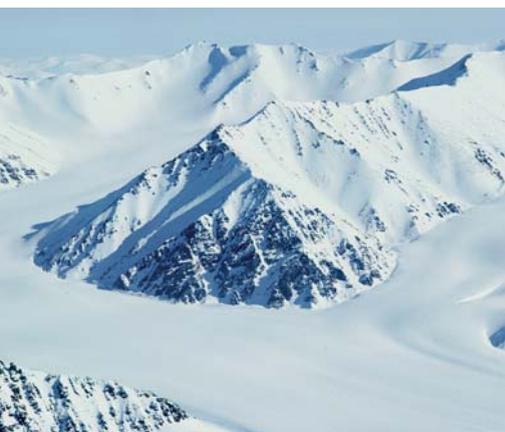
5. Изменения циркуляции атмосферы и океана могут способствовать увеличению потепления

A satellite image of a glacier on Elsmir Island, showing a complex network of meltwater lakes and icebergs. The glacier is a mix of white and brown, with a dark blue area at the bottom representing the sea. The text is overlaid on a semi-transparent grey box in the center.

Свидетельства, подтверждающие ключевые выводы

Полученное со спутника изображение ледника острова Элсмир, который достигает моря во фьорде Грили, демонстрирует растущие озера талой воды на поверхности ледника, а также айсберги, которые откололись от ледника и дрейфуют по фьорду.

1. Арктический климат сейчас быстро теплеет, и прогнозируются гораздо



Температура в Арктике растет, наиболее значительные тренды наблюдаются на протяжении нескольких последних десятилетий, особенно для зимнего периода.

Наблюдаемые изменения климата

Ряды наблюдений, демонстрирующие рост температуры воздуха, таяние ледников, уменьшение площади и толщины морского льда, таяние вечной мерзлоты и растущий уровень моря, свидетельствуют о потеплении Арктики в последнее время. Существуют региональные отклонения из-за преобладающего переноса в атмосфере и океанических течений. Одни районы демонстрируют более сильное потепление, чем другие, а в некоторых районах даже наблюдается небольшое похолодание, но для Арктики в целом есть четкий тренд потепления. Внутри этого общего тренда также есть разные тенденции, например, в большинстве регионов зимние температуры растут быстрее, чем летние. На Аляске и в Западной Канаде за последние 50 лет зимние температуры выросли на 3–4°C.

Наблюдения подтверждают, что количество осадков во всей Арктике выросло примерно на 8% за последние 100 лет, хотя неточности при измерении количества осадков в холодных условиях Арктики и редкая пространственная сеть измерений в отдельных частях региона ограничивают степень достоверности данных результатов. Выпадающие в Арктике осадки распределены неравномерно, поэтому можно ожидать региональных отклонений в изменении количества осадков и в будущем.

Помимо общего увеличения суммы осадков наблюдаются также изменения характеристик осадков. Наибольший рост количества осадков приходится на осадки в виде дождя, главным образом, в зимний период и, в меньшей степени, в осенний и весенний периоды. Увеличение количества зимних дождей, которые выпадают на верхнюю кромку снега, приводит к более быстрому таянию снега и, в случаях интенсивных дождей, может вызывать наводнения в некоторых регионах. Случаи выпадения дождя на снег значительно участились в большей части Арктики, например, в Западной части России — на 50% за последние 50 лет.



Чтобы установить, являются ли изменения климата Арктики, происходящие в последнее время, необычными, т.е. выходящими за пределы естественной изменчивости, полезно сравнить последние наблюдения с записями, показывающими как вел себя климат в прошлом. Данные о климате в прошлом получают из

Колебания температуры в Гренландии за 100 тысяч лет

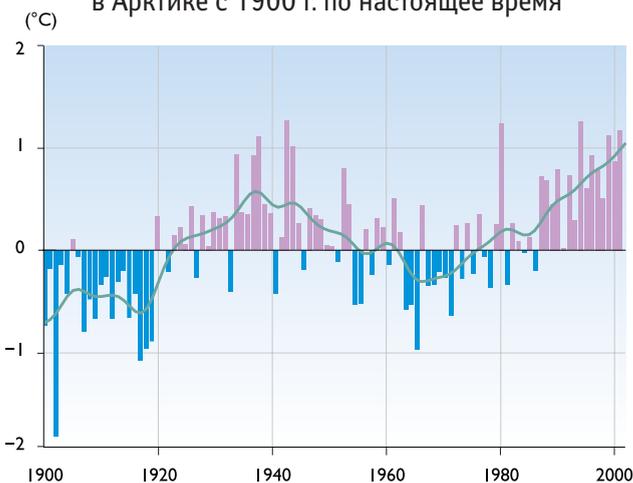


Данный ряд изменения температуры (начиная от современных условий) восстановлен на основе анализа гренландских ледовых кернов. Этот ряд показывает значительную изменчивость климата за последние 100 000 лет. Эти данные также дают возможность предположить, что климат за последние примерно 10 000 лет, которые были периодом развития цивилизации человека, оставался необычно стабильным. Существует опасение, что быстрое потепление, вызванное ростом концентраций парниковых газов вследствие деятельности человека, может дестабилизировать это состояние.

ледовых кернов и других источников, которые дают разумные представления о том, каким был климат в отдаленном прошлом. Изучение записей о климатических условиях в прошлом показывает, что величина, скорость и вид потепления, происходящего в последние десятилетия, являются действительно необычными и характеризуются ростом содержания в атмосфере парниковых газов, обусловленном деятельностью человека.

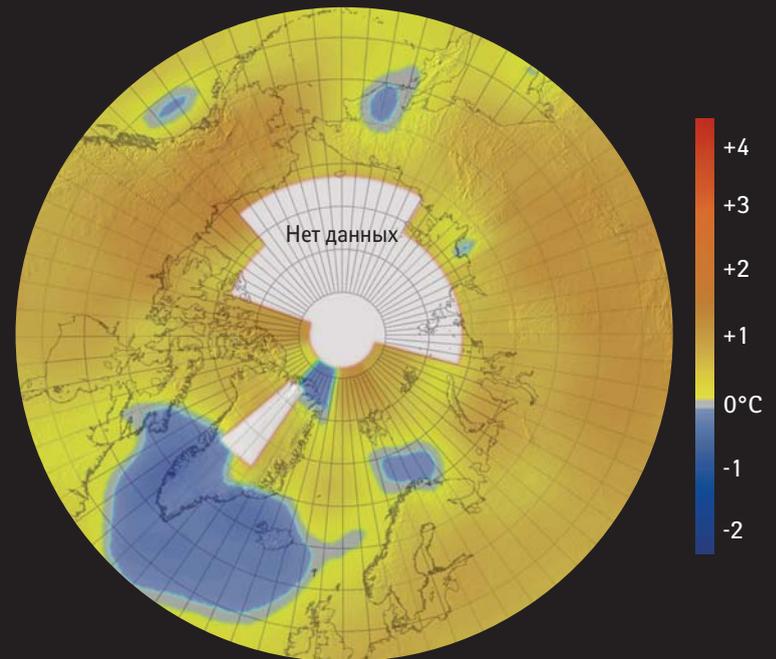
На климат могут оказывать влияние как естественные, так и антропогенные факторы. Среди естественных факторов, которые могут вызывать значительные эффекты, сказывающиеся на протяжении периода от нескольких лет до десятков лет — вариации солнечной постоянной, крупные извержения вулканов и естественные, иногда циклические, взаимодействия между атмосферой и океаном. Выявлено несколько важных естественных мод изменчивости, которые особенно сильно затрагивают Арктику. К ним относятся Арктическое колебание, Тихоокеанское десятилетнее колебание и Североатлантическое колебание. Каждое из них может оказывать влияние на региональные параметры таких характеристик, как интенсивность и траектории циклонических систем, направление преобладающих ветров, количество снега и площадь морского льда. Наряду с изменяющимися долгопериодными средними климатическими условиями, изменения климата, обусловленные деятельностью человека, могут также влиять на интенсивность, структуру и характеристики этих естественных колебаний.

Наблюдаемые изменения температуры воздуха в Арктике с 1900 г. по настоящее время



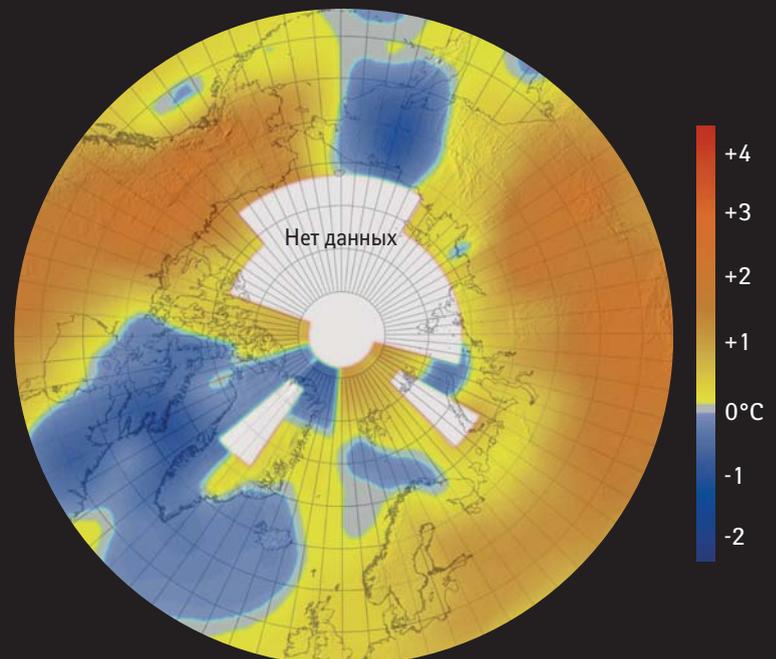
Изменение среднегодовой температуры приземного воздуха, измеряемой на материковых станциях, относительно среднего значения за период 1961–1990 гг. для региона от 60 до 90° с.ш.

Наблюдаемые изменения приземной температуры: 1954–2003 гг. (годовые, °C)



Разными цветами отмечены изменения температуры с 1954 по 2003 г. На карте сверху показано изменение среднегодовой температуры, диапазон которого составляет от потепления на 2–3°C на Аляске и в Сибири до похолодания на 1°C в южной части Гренландии.

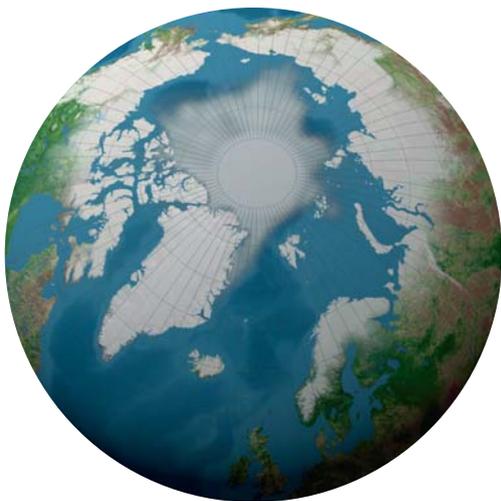
Наблюдаемые изменения приземной температуры: 1954–2003 гг. (зима: декабрь–февраль, °C)



На карте показано изменение температуры для зимних месяцев, диапазон которого составляет от потепления на величину до 4°C в Сибири и Северо-Западной Канаде до похолодания на 1°C в южной части Гренландии.



I. Арктический климат сейчас быстро теплеет, и прогнозируются гораздо



Изменения морского льда – ключевой индикатор изменения климата

Понятие “климат” подразумевает информацию не только о температуре и осадках. Помимо долгопериодных средних погодных условий климат также включает в себя как экстремальные явления, так и такие компоненты системы, как снег, лед, циркуляционные структуры в атмосфере и океане. В Арктике морской лед является одной из наиболее важных климатических составляющих. Это ключевой индикатор и фактор изменения климата, влияющий на отражательную способность поверхности, на облачность, влажность, обмен теплом и влагой на поверхности океана и океанические течения. Как будет показано дальше в этом отчете, изменения состояния морского льда имеют огромные последствия для окружающей среды, экономики и общества.

Как когда-то шахтеры брали с собой в шахту канареек для предупреждения о росте концентрации в воздухе вредных газов, так и исследователи, изучающие изменение климата, рассматривают арктический морской лед как систему раннего предупреждения. Морской лед, в настоящее время покрывающий Северный Ледовитый океан и окраинные моря, обладает высокой чувствительностью к изменениям температуры воздуха над льдом и воды под льдом. За последние десятилетия наблюдения в Арктике показали медленное сокращение дрейфующего льда, что свидетельствует о начале влияния глобального потепления. В последние годы скорость отступления льда возросла, показывая, что “канарейка” забеспокоилась.

“Лед поддерживает жизнь. Он приводит морских животных с севера в наш регион и осенью он также становится продолжением нашей земли. Когда он замерзает вдоль берега, мы выходим на лед, чтобы ловить рыбу, охотиться на морских животных и совершать поездки... Когда он начинает ослабевать и исчезать быстрее, это оказывает драматическое влияние на нашу жизнь.”

Калев Пунговийи
Ном, Аляска

Ледовая терминология



Морской лед образуется при замерзании морской воды. Так как морской лед имеет меньшую плотность, чем морская вода, он плавает по поверхности океана. При формировании морского льда почти вся соль выделяется в океан, что делает лед еще более легким. Так как лед формируется из существующей морской воды, его таяние не повышает уровня океана.

Припай — это морской лед, который нарастает от берега в океан, оставаясь прикрепленным к берегу или лежащим на мелком морском дне. Он важен как платформа для отдыха, охоты и миграций для белых медведей и моржей.

Паковый лед — это большой район дрейфующих фрагментов морского льда, которые соединены между собой.

Ледовые шапки и ледники — это материковый лед. Ледовые шапки покрывают возвышенности и горы, а ледники заполняют долины. Следует отметить, что термин “ледник” часто используется также для определения ледовой шапки.

Ледниковый щит — это набор ледовых шапок и ледников, такой, который находится в настоящее время в Гренландии и в Антарктиде. Когда ледовые шапки, ледники и ледниковые щиты тают, то этот процесс вызывает рост уровня моря, увеличивая количество воды в океане.

Айсберг — это фрагмент или обломок, который откололся от ледника или ледникового щита и плавает по поверхности океана.

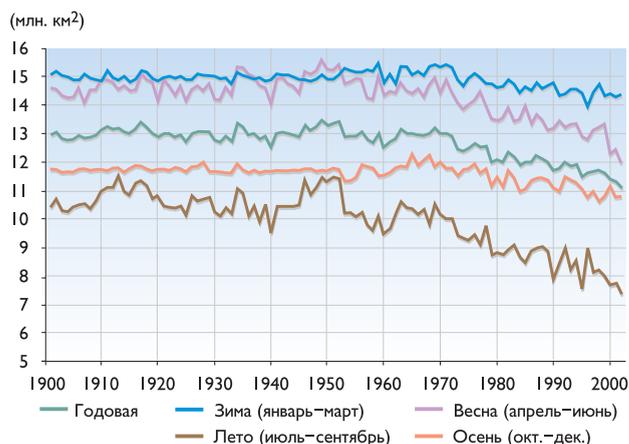


Климат в прошлом и настоящем	Криосфера и гидрология	Морские экосистемы
2	6	9

За последние 30 лет среднегодовая площадь морского льда уменьшилась примерно на 8% или почти на один миллион квадратных километров, что составляет площадь, превосходящую Норвегию, Швецию и Данию вместе взятые, и тенденция таяния льда усиливается. Площадь морского льда в летний сезон снижается гораздо значительнее, чем среднегодовая, с потерей 15–20% ледяного покрова к концу лета. Существует также значительная изменчивость от года к году. В сентябре 2002 г. была отмечена самая малая площадь арктического ледового покрова за историю наблюдений, и в сентябре 2003 г. площадь ледового покрова была почти такой же малой.

За последние десятилетия морской лед также стал тоньше с уменьшением толщины, по оценкам, на 10–15% в среднем по Арктике при наличии особых районов, где произошло уменьшение толщины на величину до 40% за период между 1960-ми и концом 1990-х годов. Воздействия сокращения морского льда обсуждаются на протяжении всего отчета и включают рост температуры воздуха, уменьшение солености поверхностного слоя океана и возрастание эрозии берегов.

Наблюдаемые изменения сезонной площади морского льда Арктики (1900–2003 гг.)



Наблюдаемый морской лед, сентябрь 1979 г.



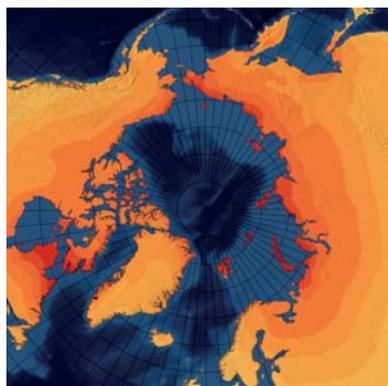
Наблюдаемый морской лед, сентябрь 2003 г.



Эти два изображения, полученные на основе спутниковых данных, позволяют сравнить площадь морского льда в Арктике в сентябре 1979 г. и 2003 г. Сентябрь — это месяц, когда морской лед имеет свой годовой минимум и 1979 г. — это первый год, когда данные такого рода стали доступными в надлежащем объеме. Самая малая площадь морского льда за историю наблюдений была отмечена в сентябре 2002 г.



I. Арктический климат сейчас быстро теплеет, и прогнозируются гораздо



Даже использование сценария наименьших выбросов и модели, генерирующей минимальное потепление, получаемое как отклик на изменение состава атмосферы, приводит к оценке, согласно которой потепление на Земле в текущем столетии будет более чем в два раза сильнее по сравнению с потеплением за прошедшее столетие.

Оценки изменения глобальной температуры (показаны как отклонение от температуры 1990 г.) для периода с 1990 г. до 2100 г. для 7 основных сценариев эмиссий. Коричневой линией показан прогноз для сценария эмиссий B2, основного сценария, использованного при выполнении этой оценки, а также сценария, на котором основаны карты данного отчета, показывающие прогнозируемые изменения климата. Розовая линия представляет сценарий A2, используемый при выполнении этой оценки в качестве дополнительного. Темно-серая область показывает диапазон результатов для всех сценариев эмиссий (SRES) с одной средней моделью, а светло-серая область показывает весь диапазон результатов, полученных климатическими моделями для различных сценариев.

Оценки будущего климата

При подготовке данного отчета привлекалась информация из разнообразных источников по документированию климатических условий в прошлом и настоящем и их оценке в будущем, в том числе: данные наблюдений (такие, как инструментальные данные, например, данные измерений термометрами, и данные о климате прошлого, получаемые на основе исследования годовых колец деревьев, ледовых кернов и донных осадков); полевые исследования; модели климата, рассчитываемые на компьютерах; знания коренных народов. Если информация, полученная разными методами, не является противоречивой, то такие результаты заслуживают большего доверия. Тем не менее, в прогнозируемых будущих изменениях климата всегда будут иметь место неопределенности и неожиданности.

Оценки будущего изменения климата и его возможных последствий проводятся системно. Два основных фактора определяют, как деятельность человека будет заставлять климат меняться в будущем:

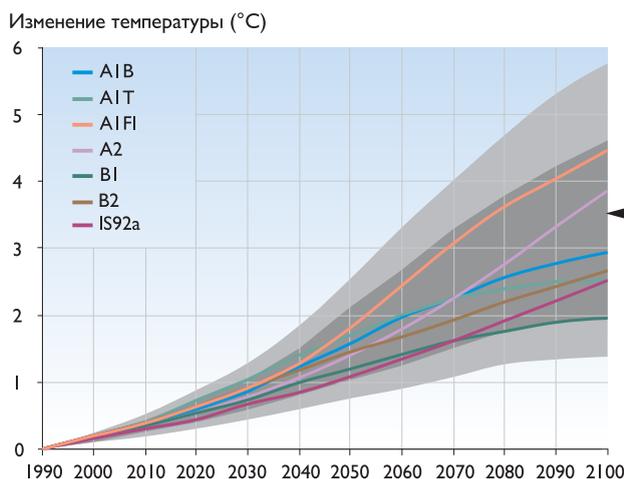
- уровень глобальной эмиссии парниковых газов в будущем;
- отклик климатической системы на эти эмиссии.

Исследования последних десятилетий дали значительное количество информации о каждом из этих двух факторов.

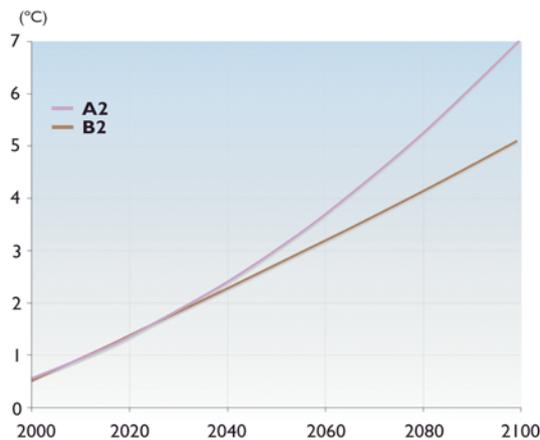
Прогноз уровней будущих эмиссий выполнен на основе развития правдоподобных сценариев для будущих изменений народонаселения, экономического роста, изменений в области технологии и политики и других аспектов человеческого общества в будущем, которые сложно полностью предвидеть. МГЭИК опубликовала Специальный Доклад о Сценариях Эмиссий (SRES), чтобы совместить эти оценки. Эти сценарии включают в себя диапазон возможных оценок будущего, основанных на данных о том, как общества, экономики и энергетические технологии, возможно, будут задействованы, и как они могут быть использованы для оценки вероятного диапазона будущих выбросов, которые влияют на климат.

Рассматривая отклик климатической системы, компьютерные модели, разрабатываемые исследовательскими центрами во всем мире, представляют аспекты климатической системы (например, то, как может измениться облачность и ледовый покров и, в конечном счете, какое влияние может быть оказано на климат и уровень Мирового океана) с некоторыми различиями, расходясь в прогнозируемой величине потепления.

Прогноз роста глобальной температуры



Прогноз роста температуры в Арктике



Прогноз роста температуры в Арктике (для 60°–90° с.ш.), полученный усреднением результатов расчетов моделей АСИА для сценариев эмиссии А2 и В2, относительно периода 1981–2000 гг.



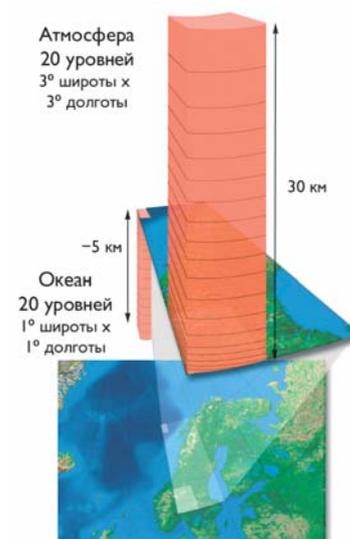
Независимо от выбора сценария эмиссии или компьютерной модели, все модельные расчеты прогнозируют значительное глобальное потепление на протяжении ближайших столет. Даже использование сценария наименьших выбросов и модели, генерирующей минимальное потепление, получаемое как отклик на изменение состава атмосферы, приводит к оценке, согласно которой потепление на Земле в текущем столетии будет более чем в два раза сильнее по сравнению с потеплением за прошедшее столетие. Кроме того, модельные расчеты показывают, что потепление в Арктике будет значительно больше по величине, чем среднемировое (в некоторых регионах более, чем в два раза). Хотя модели расходятся в своих прогнозах некоторых особенностей изменения климата, все они сходятся в том, что окружающий мир будет значительно теплеть вследствие деятельности человека, и что Арктика, вероятно, начнет испытывать заметное потепление раньше других районов, и здесь оно будет наиболее интенсивным.

Климатические модели и сценарии эмиссий, рассмотренные МГЭИК, определяют диапазон возможных условий для будущего. Для демонстрации типов воздействий, которые, вероятно, будут иметь место, АСИА отобрала результаты пяти климатических моделей ведущих центров климатических исследований и один умеренный сценарий эмиссий (известный как В2, подробности см. в Приложении 1) в качестве первоначальной основы для выполнения оценки воздействий будущих климатических условий. Карты прогнозируемых климатических условий в данном отчете основаны на этом сценарии эмиссий В2. Другой сценарий эмиссий (известный как А2) был добавлен в некоторые исследования для рассмотрения еще одного возможного варианта будущего. Выбор этих двух сценариев здесь отражает ряд практических ограничений при проведении этой оценки и не является выводом о том, что эти два сценария реализуются с наибольшей вероятностью.

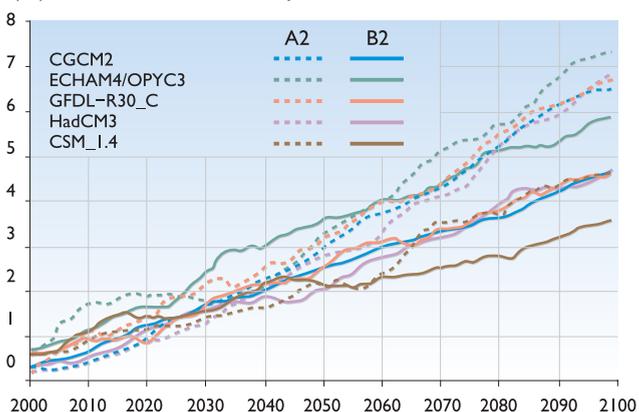
При ознакомлении с результатами моделирования в этом отчете важно помнить, что это не наихудшие или наилучшие сценарии. Напротив, прогнозируемое потепление находится немного ниже середины диапазона результатов расчетов роста температуры, полученного при использовании глобальных климатических моделей. Также важно отметить, что для многих воздействий, рассматриваемых в данном отчете, привлекалась информация из дополнительных источников, опубликованная в рецензируемой научной литературе, включая наблюдаемые изменения климата, наблюдаемые воздействия, экстраполяцию текущих трендов, результаты лабораторных и полевых экспериментов.

При ознакомлении с результатами моделирования в этом отчете важно помнить, что это не наихудшие или наилучшие сценарии. Напротив, прогнозируемое потепление находится немного ниже середины диапазона результатов расчетов роста температуры, полученного при использовании глобальных климатических моделей.

Глобальная климатическая модель



Прогноз температуры приземного воздуха для периода 2000–2100 гг. и для области от 60° с.ш. до Северного полюса, отклонение от среднего за период 1981–2000 гг.



Примечание: Полные названия этих моделей и описание сценариев эмиссий А2 и В2 приведены в Приложении 1, на стр. 128–129.

10 линий показывают температуру воздуха для региона от 60° с.ш. до полюса, полученную по каждой из пяти климатических моделей АСИА при использовании двух разных сценариев эмиссий. Эти прогнозы остаются сходными до 2040 г., показывая рост температуры примерно на 2°C, но затем расходятся, показывая рост температуры на величину от примерно 4° до более чем 7°C к 2100 г. Весь набор моделей и сценариев, рассмотренных МГЭИК, описывает более широкий диапазон возможных изменений. Модели, которые использованы при выполнении данной оценки, попадают примерно в середину этого диапазона и, таким образом, не представляют ни самые умеренные сценарии, ни самые экстремальные.

Глобальные климатические модели, рассчитываемые на компьютерах, основаны на физических законах, представленных в виде математических уравнений, которые решаются на трехмерной сетке для всей Земли. Модели включают основные компоненты климатической системы: атмосферу, океаны, земную поверхность, снег и лед, живые организмы и процессы, которые происходят внутри них и между ними. Как показано на рисунке, разрешение (размер ячейки) глобальных моделей является достаточно грубым. Это подразумевает, что, в целом, наибольшего доверия заслуживают крупномасштабные прогнозы, а с уменьшением пространственного масштаба неопределенность растет.

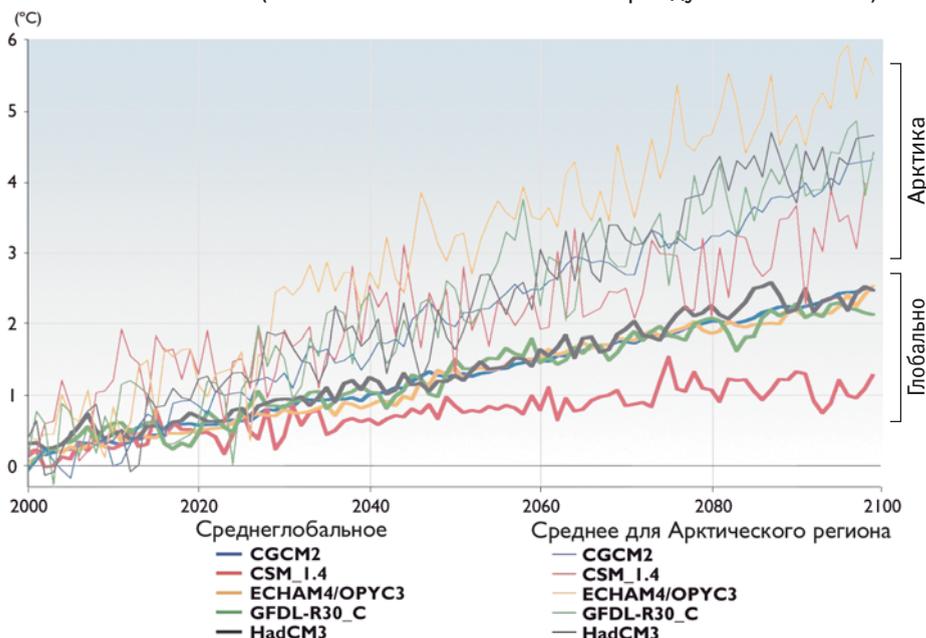
I. Арктический климат сейчас быстро теплеет, и прогнозируются гораздо



Прогнозируемые изменения температуры в Арктике

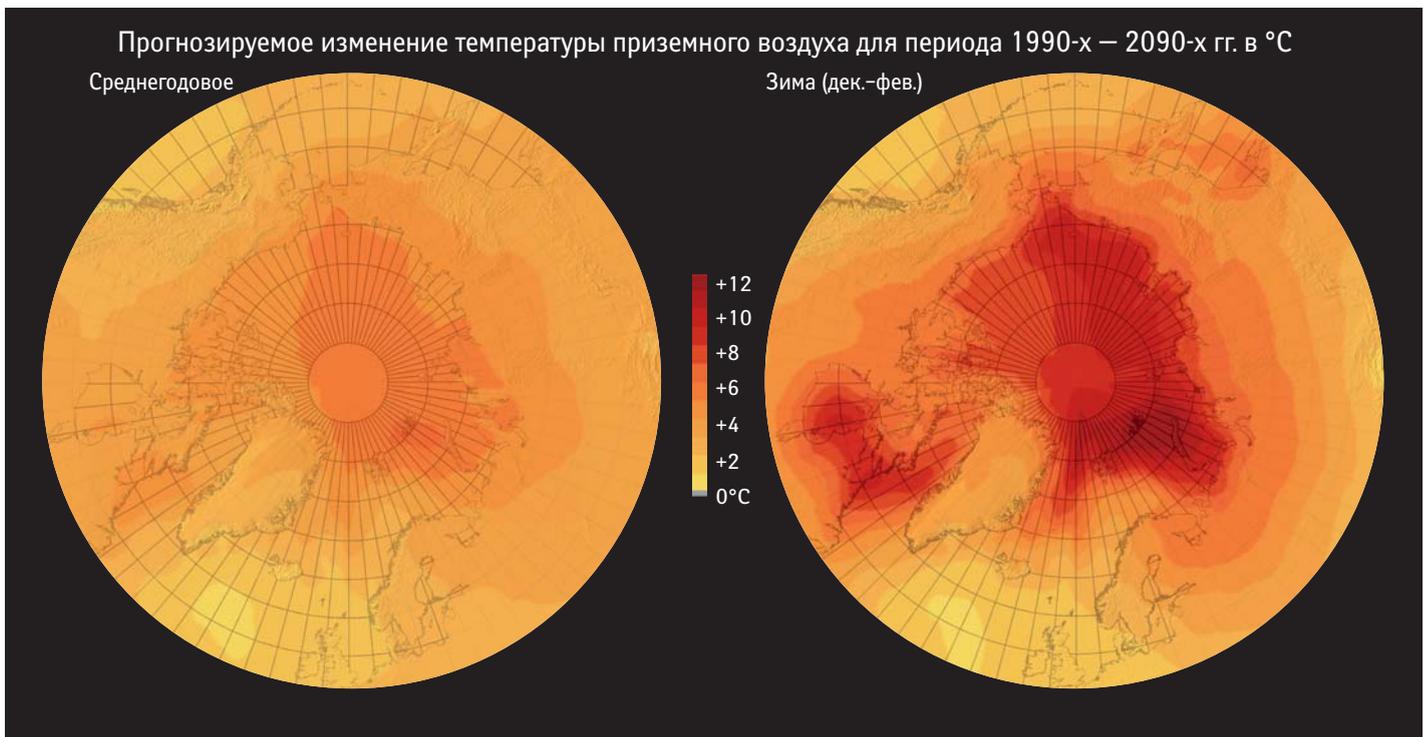
Карты, приводимые ниже, показывают оценки изменения арктической температуры как среднегодовой, так и для зимнего сезона (декабрь, январь и февраль). Карты показывают прогноз диапазона изменений температуры для периода с 1990-х по 2090-е гг., основанный на усреднении изменений, рассчитанных в пяти климатических моделях АСИА при использовании сценария эмиссий В2 (результаты расчетов потепления по которому находятся немного ниже середины диапазона расчетов по сценариям МГЭИК). При использовании данного сценария к концу текущего века прогнозируется рост среднегодовой температуры во всем Арктическом регионе с увеличением примерно на 3–5°C над сушей и до 7°C над океаном. Прогнозируется, что зимние температуры вырастут значительно, на 4–7°C над сушей и на 7–10°C над океаном. Согласно прогнозу, самое сильное потепление ожидается над такими материковыми районами, как северная часть России, примыкающая к океану, где, по прогнозу, морской лед резко сократится.

Прогноз изменения температуры приземного воздуха (изменение по отношению к периоду 1981–2000 гг.)



На графике представлены средние температуры, рассчитанные в пяти климатических моделях АСИА для сценария эмиссий В2. Толстыми линиями в нижней части диаграммы представлены прогнозируемые увеличения средней глобальной температуры, а более тонкими линиями выше показан прогнозируемый рост температуры в Арктике. Как показывают результаты, согласно прогнозам, рост температуры в Арктике будет гораздо значительнее, чем в целом по земному шару. Также очевидно, что межгодовая изменчивость в Арктике существеннее.

Эти карты показывают прогнозируемое изменение температуры для периода 1990-х – 2090-х гг., основанное на среднем изменении, рассчитанном в пяти климатических моделях АСИА при использовании сценария эмиссии (В2), наиболее умеренного из двух сценариев, рассматриваемых в этом отчете. На этих картах оранжевый цвет показывает, что, согласно прогнозу, потепление в регионе составит около 6°C в период с 1990-х до 2090-х гг.



Прогнозируемые изменения осадков в Арктике

Глобальное потепление приведет к увеличению испарения и, в свою очередь, к возрастанию количества осадков (это уже происходит). Во всей Арктике общее количество осадков за год, согласно прогнозу, возрастет примерно на 20% к концу этого века, с максимальным увеличением, приходящимся на осадки в виде дождя. Согласно прогнозам, возрастет количество осадков в летний период в северной части Северной Америки и на Чукотке (Россия), тогда как количество случаев выпадения дождей летом в Скандинавии, согласно прогнозам, уменьшится. В зимний сезон количество осадков фактически во всех районах материка (за исключением южной Гренландии), согласно прогнозам, возрастет. Согласно прогнозам, рост количества осадков в Арктике будет происходить, главным образом, в прибрежных районах, как в зимний, так и в осенний сезоны; рост в эти сезоны превысит 30%.

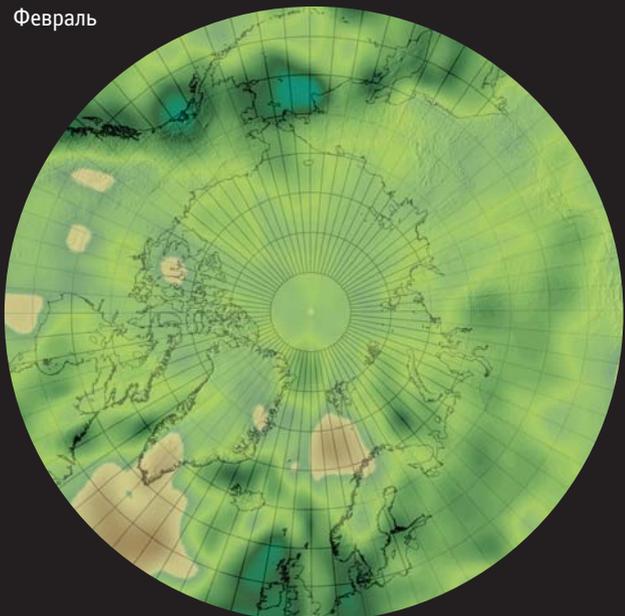


На рисунке показано изменение в % среднего количества осадков, рассчитанное в пяти климатических моделях АСИА для сценария эмиссий В2. Толстыми линиями в нижней части диаграммы представлены прогнозируемые изменения среднего глобального количества осадков, а более тонкими линиями выше показаны прогнозируемые изменения количества осадков в Арктике. Как показывают оценки, согласно прогнозам, рост количества осадков в Арктике будет гораздо значительнее, чем на планете в целом. Также очевидно, что межгодовая изменчивость в Арктике гораздо больше.

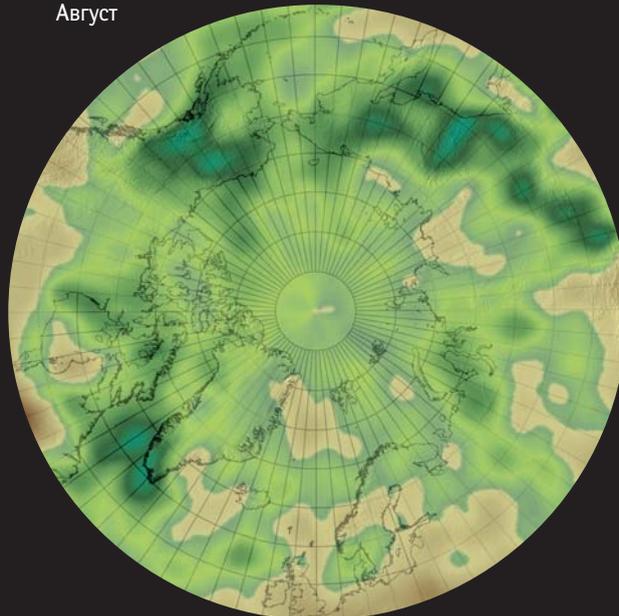


Прогнозируемое изменение количества осадков: между периодами 1980 – 1999 гг. и 2070–2089 гг., в мм/месяц

Февраль



Август



Эти карты показывают прогнозируемое изменение количества осадков в мм в месяц, рассчитанное в моделях АСИА. На этих картах темно-зеленый цвет показывает, что, согласно прогнозу, количество осадков возрастет примерно на 6 мм в месяц в период с 1990-х до 2090-х гг.



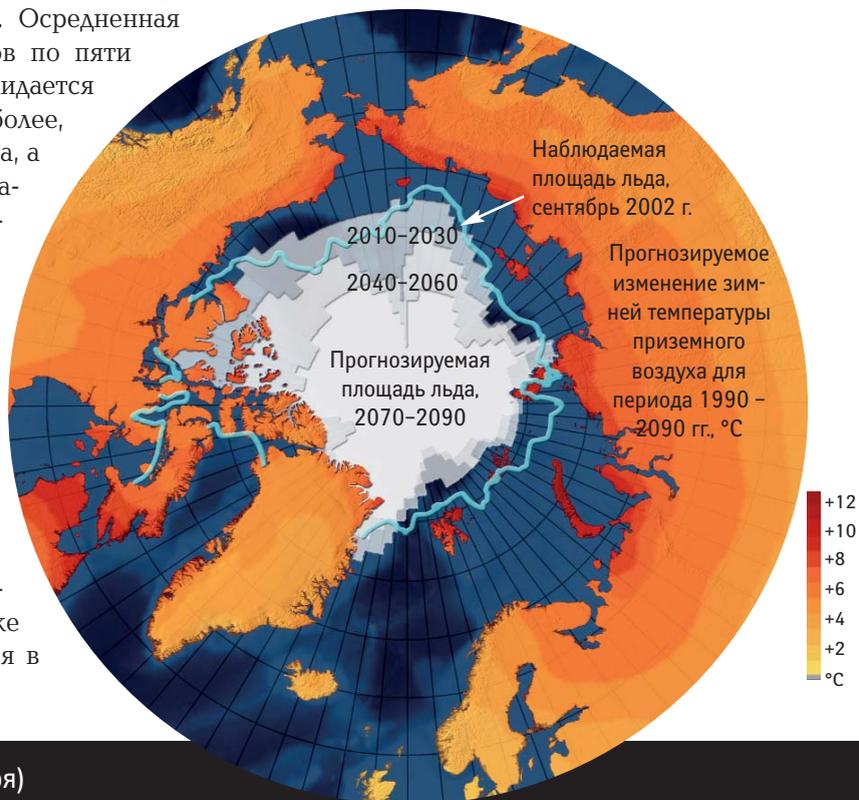
I. Арктический климат сейчас быстро теплеет, и прогнозируются гораздо



Прогнозируемое сокращение морского льда приведет к росту регионального и глобального потепления вследствие снижения отражательной способности поверхности океана.

Прогнозируемые изменения морского льда

Как было отмечено выше, морской лед за последние полвека уже значительно сократился. К 2100 г. прогнозируется дополнительное сокращение среднегодовой площади морского льда на величину примерно 10–50%. Прогнозируется, что сокращение морского льда в летний сезон будет значительно более существенным, чем среднегодовое. Осредненная оценка результатов расчетов по пяти моделям показывает, что ожидается сокращение площади льда более, чем на 50% к концу этого века, а несколько моделей показывают почти полное исчезновение летнего морского льда. Прогнозируемое сокращение морского льда приведет к росту регионального и глобального потепления вследствие снижения отражательной способности поверхности океана. Дополнительные воздействия предсказываемого сокращения морского льда на природу и сообщества в Арктике и во всем мире обсуждаются в данном отчете.



Прогнозируемая площадь льда (среднее по 5 моделям для сентября)

2010-2030



2040-2060



2070-2090



Согласно прогнозам, площадь морского льда в сентябре, уже заметно сократившаяся, будет уменьшаться в будущем даже еще быстрее. Три рисунка, приведенные выше, показывают средний результат прогнозов, полученных по пяти климатическим моделям для трех периодов в будущем. По мере приближения конца столетия морской лед будет отступать дальше и дальше от берегов, отодвигаясь в центральную часть Северного Ледовитого океана. Некоторые модели дают почти полное исчезновение морского льда летом в этом столетии.



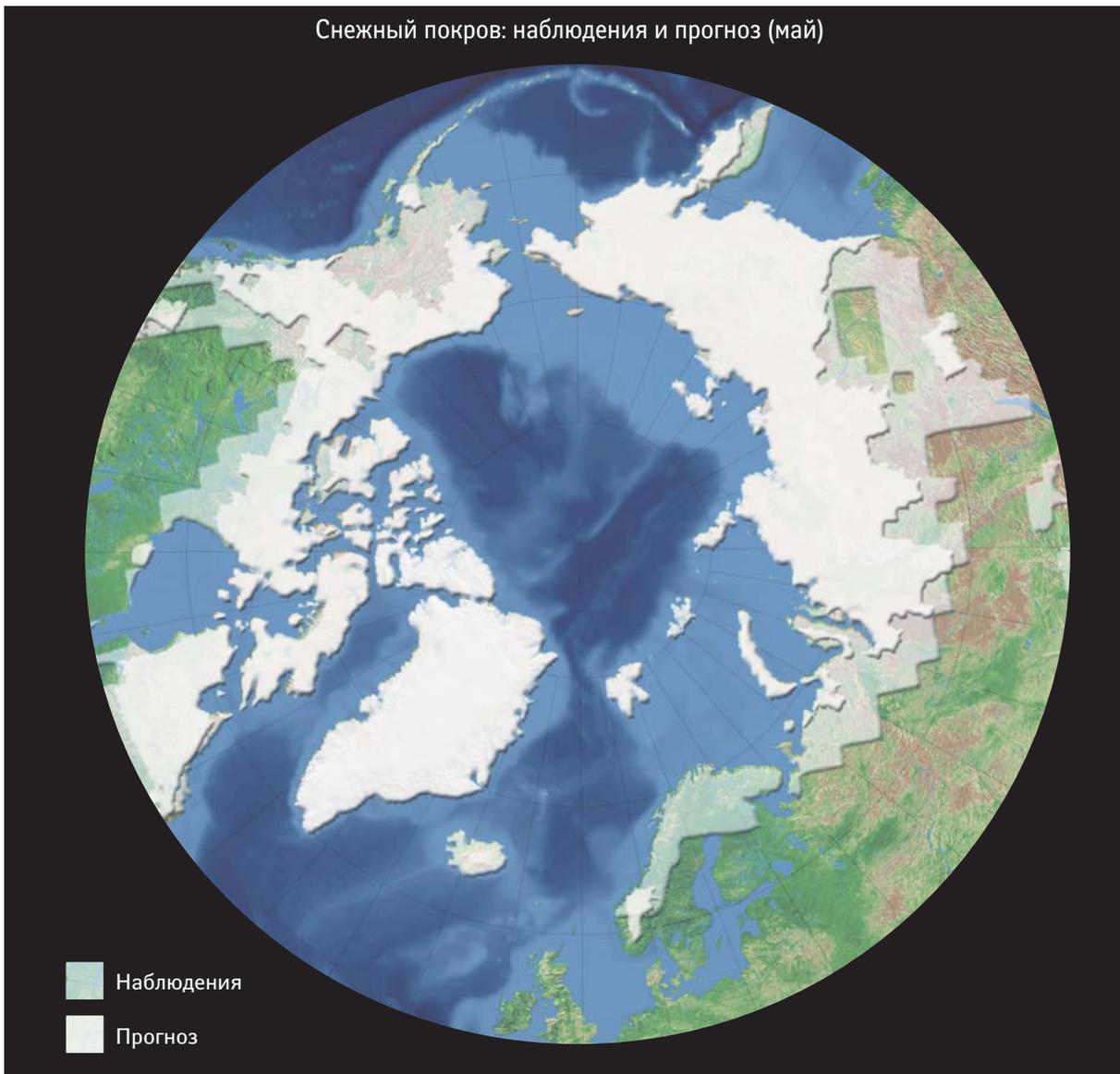
Климат будущего	Криосфера и гидрология	Морские экосистемы
4	6	9

Прогнозируемые изменения снежного покрова

За последние 30 лет площадь снежного покрова на материковой части Арктики уменьшилась на величину около 10%, и, согласно модельным прогнозам, к концу этого века она сократится еще на 10–20%. Согласно прогнозам, наибольшее сокращение площадей, покрытых снегом, придется на весну (апрель, май), предполагается дальнейшее сокращение снежного сезона и более ранний сезонный максимум речного стока в Северный Ледовитый океан и прибрежные районы морей. По прогнозам, будут происходить важные изменения свойств снежного покрова, такие как увеличение случаев таяния и замерзания зимой, что приведет к образованию корки льда, которая, в свою очередь, будет ограничивать доступ животным к местам кормления и разведения. Некоторые воздействия от прогнозируемых изменений будут включать в себя снижение благоприятного для растений и других живых существ изолирующего эффекта снежного покрова и затруднение доступа к подножным кормам для животных. Изменения также повлияют на приток пресной воды с материка в океан, на перенос влаги и тепла от поверхности земли в атмосферу и на морские экосистемы. Дополнительные воздействия прогнозируемого сокращения снежного покрова обсуждаются в данном отчете.

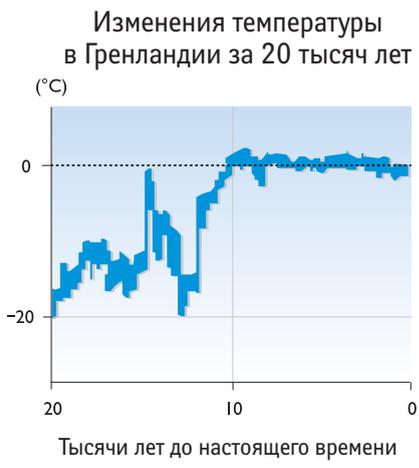


Согласно прогнозам, наибольшее сокращение площадей, покрытых снегом, придется на весну (апрель, май), предполагается дальнейшее сокращение снежного сезона и более ранний сезонный максимум речного стока в Северный Ледовитый океан и прибрежные районы морей.



Согласно прогнозам, снежный покров в мае значительно сократится на всей территории Арктики. Область, отмеченная на рисунке серым цветом, показывает современное распространение снежного покрова в мае. Область, отмеченная на рисунке белым цветом, показывает районы для периода 2070–2090 гг., где в мае, по моделям АСИА, будет присутствовать снежный покров. По прогнозам, очевидно, произойдет крупномасштабное сокращение площади снежного покрова.

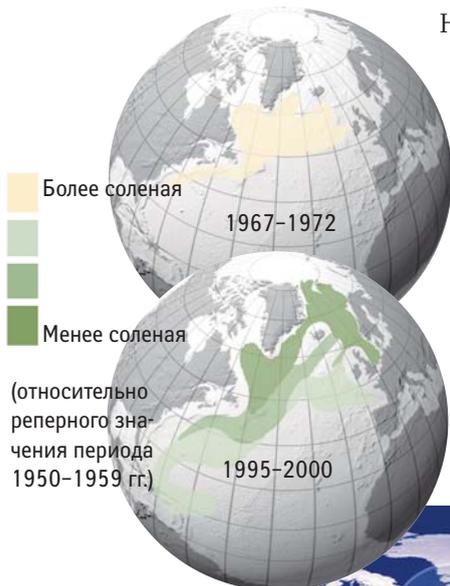
I. Арктический климат сейчас быстро теплеет, и прогнозируются гораздо



Резкое изменение

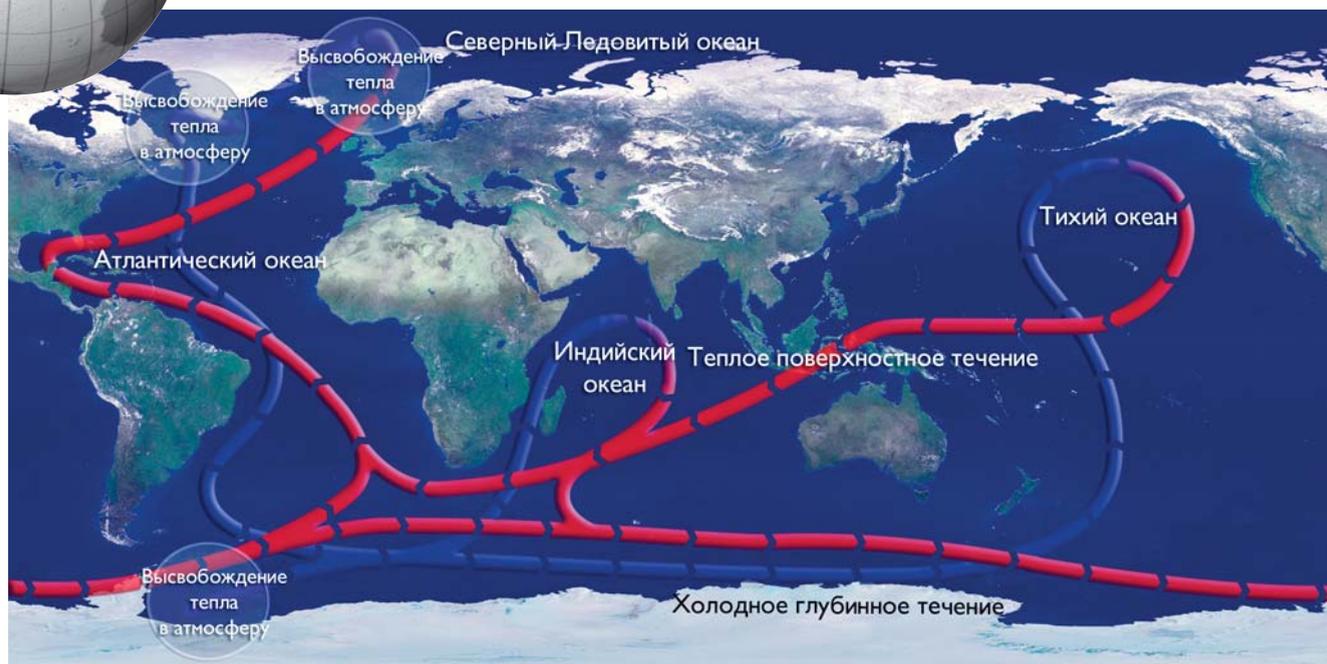
Хотя почти все оценки воздействий изменения климата в данной работе и других аналогичных работах базируются на сценариях постепенного потепления климата, существует также вероятность того, что постепенное потепление может вызвать резкое изменение климата. Такое резкое изменение может быть обусловлено существованием нелинейных процессов в климатической системе. В качестве примера можно привести переход через критический порог (такой, как точка замерзания). Как только такой порог будет перейден, система может резко перейти из одного состояния в другое. Есть подтверждения того, что альтернативные стабильные состояния существуют как для компонент климатической системы, так и для природных систем, хотя о механизмах, которые могут стать причиной резкого перехода систем из одного состояния в другое известно меньше. Поскольку механизмы резких изменений в современных климатических моделях не имеют адекватного представления, остается открытой возможность различных сюрпризов. Мнение, что такие резкие изменения являются возможными, поддерживается относительно высокой естественной изменчивостью климата Арктики по сравнению с условиями в остальном мире. Ряды данных о климате прошлого показывают, например, что в прошлом, очевидно, происходили очень сильные изменения климата Арктики за короткие временные периоды.

Уменьшение солёности вод Северной Атлантики



Например, данные, полученные из ледниковых кернов, показывают, что температура в Гренландии понижалась на величину до 5°C на протяжении нескольких лет во время периода потепления, наступившего после последнего ледникового периода, после чего снова последовало резкое потепление. Это относительно резкое и затем устойчивое изменение погодных условий над Гренландией, очевидно, было вызвано переходом порога, связанного с солёностью океана, что привело к резкому замедлению океанической циркуляции, приносящей тепло в Европу и Арктику. Очень вероятно, что это изменение океана вызвало резкое изменение атмосферной циркуляции, что продолжалось несколько столетий и обусловило сильные изменения климата над сушей, окружающей Северную Атлантику, и за ее пределами. Устойчивые, хотя и меньшие сдвиги в циркуляционных структурах атмосферы (например, наблюдаемые во время изменения фаз Северо-Атлантического и Арктического колебаний) происходили на протяжении 20-го века. Эти сдвиги, очевидно, стали причиной изменений преобладающих погодных условий в арктических странах, внося свой вклад, например, в теплые десятилетия, такие как 1930-е и 1940-е годы, и в холодные десятилетия, такие как 1950-е и 1960-е годы.

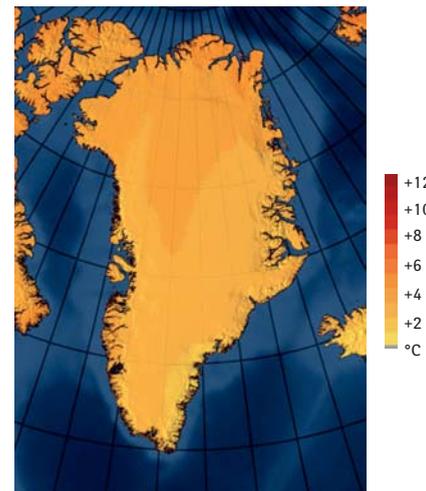
Изменения глобальной океанической циркуляции могут вызвать резкие изменения климата. Такие изменения могут быть инициированы ростом количества осадков в Арктике и увеличением стока рек, а также таянием арктического снега и льда, так как эти процессы приводят к снижению солёности океанических вод в Северной Атлантике, что проиллюстрировано выше. Дальнейшее обсуждение этого вывода приводится на стр. 36-37.



Климат в прошлом и настоящем	Климат будущего	Криосфера и гидрология	Морские экосистемы	Леса и сельское хозяйство	Заключение и выводы
2	4	6	9	14	18

Климатические модели предсказывают, что потепление в Гренландии превысит 3°C уже в этом столетии. Согласно прогнозам моделей ледниковых щитов, потепление такой величины может вызвать долговременное таяние Гренландского ледникового щита.

Прогнозируемое изменение среднегодовой температуры, 2070–2090 гг.



Важность пороговых ситуаций

Существует много различных пороговых ситуаций в природе Арктики, при переходе через которые могут наступить значительные последствия для региона и мира в целом. Так как обусловленное деятельностью человека потепление продолжается, для различных арктических систем существует возможность резкого перехода в новые или необычные состояния. Такие изменения могут произойти при переходе порогового значения температуры или превышении порогового количества осадков. Исторические ряды данных о климате Арктики свидетельствуют, что иногда такие изменения происходили резко (за несколько лет), а иногда постепенно (за несколько десятилетий и более). Такие сдвиги могут вызвать всплеск различных типов воздействий. Например, необычно теплые и влажные условия могут стать причиной всплеска численности насекомых-вредителей или инфекционных болезней.

Начало длительного процесса таяния Гренландского ледникового щита является примером порога, который может быть перейден в этом веке. Климатические модели предсказывают, что потепление в Гренландии превысит 3°C уже в этом столетии. Согласно прогнозам моделей ледниковых щитов, потепление такой величины может вызвать долговременное таяние Гренландского ледникового щита. Даже при последующей стабилизации климатических условий рост этой величины, согласно прогнозу, приведет через столетия к фактически полному исчезновению Гренландского ледникового щита, обусловив рост уровня моря примерно на 7 метров. Предварительный сигнал из Северной Атлантики о начале замедления глубины циркуляции океана является другим примером возможного порога, который может быть перейден. Если эта тенденция продолжится, то перенос тепла океаном из тропиков на север, что сейчас смягчает зимы в Европе, может значительно ослабеть.

Существуют также пороговые ситуации в мире живой природы. Например, почти половина всех белых елей на границе лесной зоны Аляски заметно замедляет рост при превышении средней температуры июля 16°C в районе исследования. Наблюдаемое соотношение между этим пороговым значением температуры и замедлением роста деревьев позволяет предположить, что при прогнозируемом для этого столетия потеплении может прекратиться существование данного вида. При переходе критических порогов могут произойти аналогичные вымирания популяций у некоторых видов животных.

Возможность внезапных или неожиданных изменений ставит перед учеными серьезную задачу, связанную с их прогнозом. Проблемой становится и способность местных сообществ адаптироваться к таким изменениям, повышающим их уязвимость в результате сильных воздействий. Хотя существует значительная неопределенность в вопросе о том, какие пороги и когда будут перейдены, данные о климате прошлого показывают, что возможности резких изменений и новые экстремальные ситуации являются реальными.

Скорость изменения

Скорость, с которой происходит изменение, может быть даже более важной, чем его величина. При исследовании воздействий изменения климата скорость изменения необходимо рассматривать в тесной связи с факторами, важными для человеческих сообществ. Так если бы таяние вечной мерзлоты или усиление береговой эрозии происходили очень медленно, то строения, дороги и т.п. можно было бы переносить в ходе обычного цикла перемещения инфраструктуры. Но если изменения происходят быстро, то затраты на такие перемещения могут быть высокими.

Проблема скорости изменения является ключевой при обсуждении резкого изменения климата. Данные о климатах прошлого свидетельствуют, что наиболее вероятно резкие изменения происходят тогда, когда климат изменяется быстро. Так как часто наиболее трудно происходит адаптация к резким изменениям, очевидно, что скорости изменения климата следует уделять значительное внимание.

2 Потепление Арктики и его воздействия оказывают влияние на весь мир



Если бы не было переноса тепла атмосферой и океаном от тропиков к полюсам, тропики бы нагревались сильнее, а полярные регионы были бы гораздо холоднее, чем это наблюдается.



Значение Арктики для глобального климата

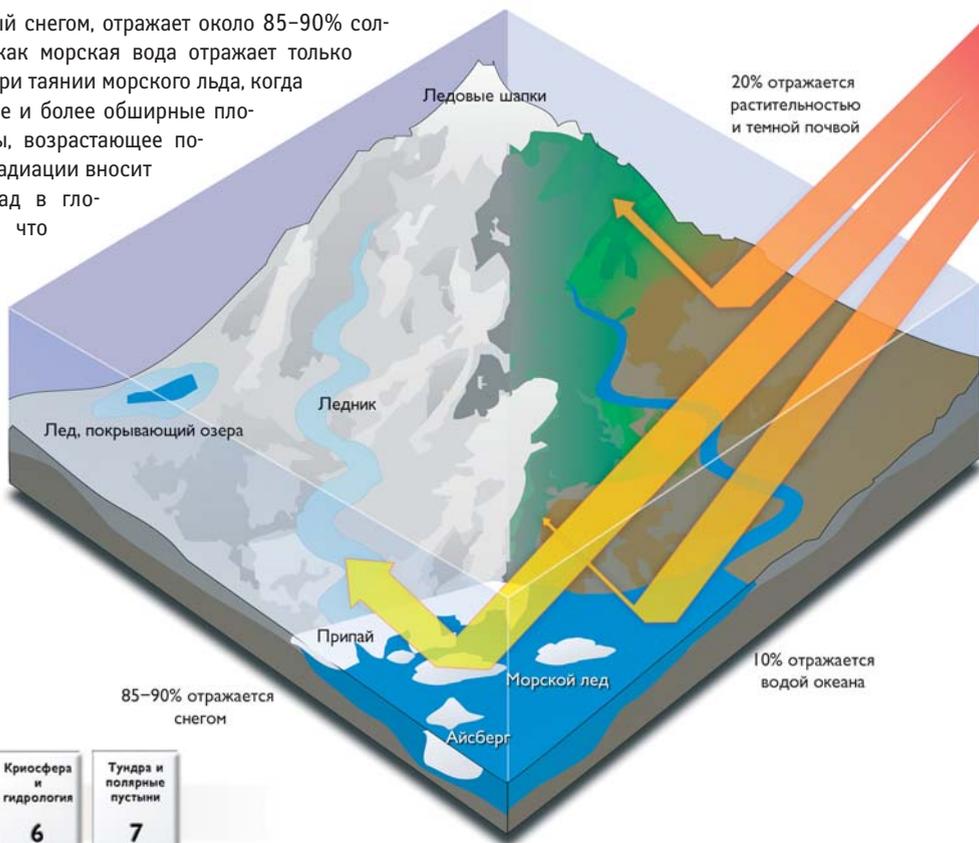
Арктика оказывает особое влияние на глобальный климат. Годовая сумма приходящей от солнца энергии является наибольшей вблизи экватора и наименьшей вблизи полюсов. Далее, из-за того, что значительная часть территории Арктики покрыта снегом и льдом, доля приходящей солнечной энергии, отражаемая назад в космос, здесь более значительна, чем в низких широтах, где наибольшая часть этой энергии поглощается поверхностью земли. Если бы не было переноса тепла атмосферой и океаном от тропиков к полюсам, тропики бы нагревались сильнее, а полярные регионы были бы гораздо холоднее, чем это наблюдается. В Северном полушарии основной вклад в океаническую часть этого переноса энергии вносит Атлантический океан, и как объяснено выше, процессы, происходящие в Арктике, обладают потенциальной возможностью оказывать значительные воздействия на интенсивность циркуляции Атлантического океана.

Существует три основных механизма, или так называемые "обратные связи", посредством которых процессы, происходящие в Арктике, могут приводить к дополнительным изменениям климата на планете. Один из них включает в себя изменение отражательной способности поверхности вследствие таяния снега и льда и изменений растительного покрова, второй — изменения океанической циркуляции вследствие таяния арктического льда и поступления пресной воды в океаны, и третий — изменения количества парниковых газов, выбрасываемых в атмосферу с поверхности суши при прогрессирующем потеплении.

Первая обратная связь: отражательная способность поверхности

Первая обратная связь включает снег и лед, покрывающие большую часть Арктического региона. Так как снег и лед имеют ярко белый цвет, они отражают большую часть солнечной энергии, достигающей земной поверхности, обратно в космос. Это является одной из причин того, почему Арктика остается такой холодной. Так как содержание в атмосфере парниковых газов растет и нагревает нижнюю атмосферу, снег и лед начинают формироваться осенью позже и таять раньше весной. Таяние снега и льда обнажает земную и водную поверхности, которые являются более темными и, поэтому, поглощают больше солнечной энергии.

Морской лед, покрытый снегом, отражает около 85–90% солнечного света, тогда как морская вода отражает только 10%. Таким образом, при таянии морского льда, когда открываются все более и более обширные площади свободной воды, возрастающее поглощение солнечной радиации вносит дополнительный вклад в глобальное потепление, что вызывает дальнейшее таяние, которое, в свою очередь, вызывает дополнительное потепление, и т.д.



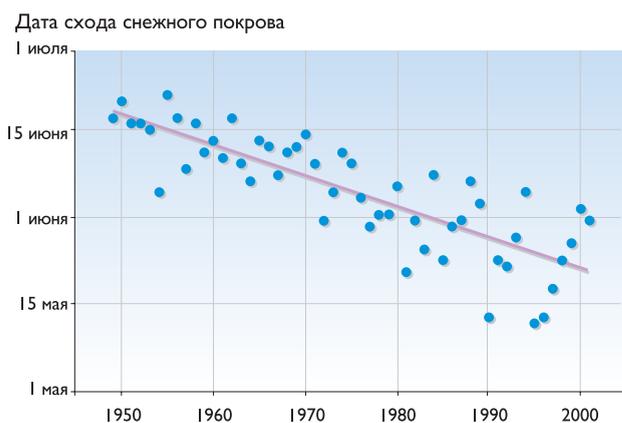
Климат в прошлом и настоящем	Климат будущего	Криосфера и гидрология	Тундра и полярные пустыни
2	4	6	7

Это приводит к дальнейшему нагреванию поверхности, ускоряя таяние, что, в свою очередь, вызывает еще большее потепление, и так далее, создавая саморазгоняющийся цикл, посредством которого процесс глобального потепления подталкивает сам себя, усиливая и ускоряя тенденцию потепления. Такой процесс уже идет в Арктике с повсеместным отступлением ледников, снежного покрова и морского льда. Это одна из причин, по которой изменение климата в Арктике происходит быстрее, чем где-либо еще. Это региональное потепление также ускоряет потепление, происходящее в глобальном масштабе.

Другим изменяющимся параметром, вызывающим дальнейшее потепление вследствие возрастания поглощения солнечной энергии земной поверхностью, вероятно, являются леса, которые, согласно прогнозу, продвинулись в северные районы, где сейчас простирается тундра. У относительно более гладкой поверхности тундры, особенно покрытой снегом, отражательная способность гораздо выше, чем у более высоких, темных и более фактурных лесов, которые, согласно прогнозу, заменят тундру. Снижение отражательной способности, которое будет сопровождать расширение лесной зоны, как ожидается, приведет к дальнейшему усилению потепления, хотя и более медленному, чем изменения в снежном и ледовом покрове, описанные выше. Как ожидается, усиленный рост деревьев приведет к увеличению поглощения углекислого газа по сравнению с объемами, поглощаемыми современной растительностью, и этот процесс может потенциально замедлить потепление. Тем не менее, снижение отражательной способности из-за расширения лесной зоны, вероятно, приведет к более сильному влиянию на климат, чем эффект поглощения углекислого газа, что усилит потепление. Более интенсивный рост растений также закрывает снежный покров на земле, снижая отражательную способность еще значительно.

Прямым влиянием деятельности человека, которая также снижает отражательную способность, является выброс сажи при сгорании ископаемого топлива (вдобавок к эмиссии углекислого газа, представляющей собой основную проблему). Частицы сажи, которые переносятся ветром и оседают в Арктике, слегка затемняют поверхность ярко белых снега и льда, заставляя их отражать меньше солнечной энергии, что способствует возрастанию потепления. Сажевые частицы в атмосфере также увеличивают поглощение солнечной радиации, приводя к дальнейшему потеплению региона.

Наблюдаемые изменения снежного покрова, Барроу, Аляска.

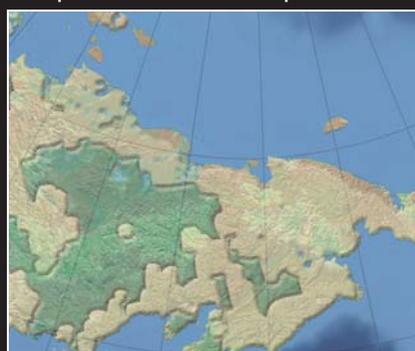


Площадь снежного покрова на суше в Арктике сократилась примерно на 10% за последние 30 лет, наиболее очевидные изменения — более ранний сход снега весной. Выше на графике проиллюстрирована ситуация в районе Барроу, Аляска. За последние 50 лет сход снежного покрова стал наступать примерно на один месяц раньше.

Так как таяние снега и льда вызывает потемнение поверхности планеты и увеличение площади свободной ото льда воды, то будет поглощаться больше солнечной энергии, что вызовет дальнейшее нагревание планеты.

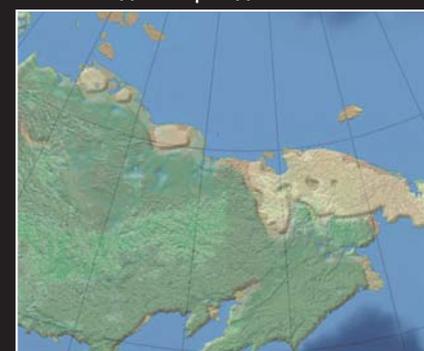


Современное распределение зон растительности в Арктике



- Лед
- Полярные полу-/пустыни
- Тундра
- Северные леса
- Леса умеренного пояса
- Степи

Прогноз распределения зон растительности для периода 2090–2100 гг.



Эти карты современного и прогнозируемого распределения зон растительности в Арктике показывают, что леса, по оценкам, вытеснят тундру, а тундра продвигнется в зону полярных пустынь. Эти изменения обусловят потемнение поверхности земли, усиливая потепление вследствие поглощения большего количества солнечной энергии и создания саморазгоняющегося цикла обратной связи



2 Потепление Арктики и его воздействия оказывают влияние на весь мир

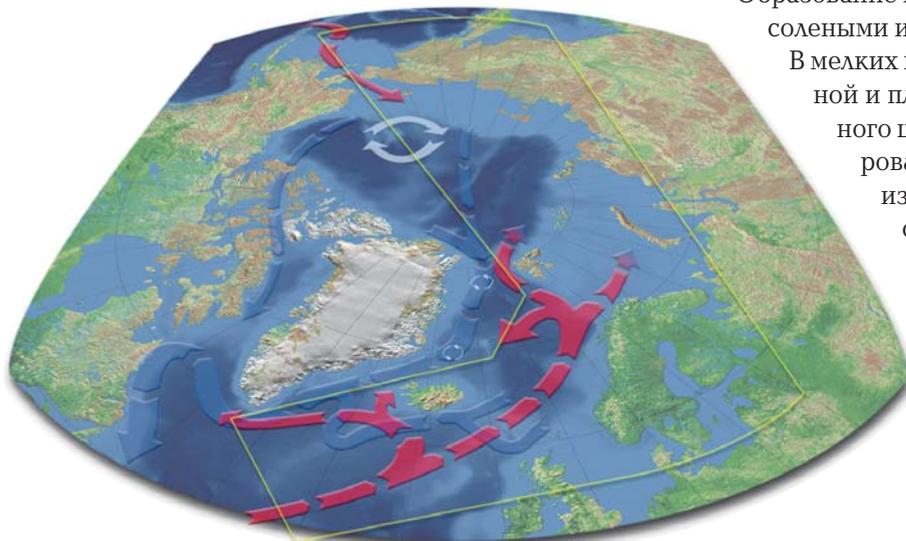
Вторая обратная связь: циркуляция океана.

Второй обратной связью, посредством которой процессы, происходящие в Арктике, могут усиливать изменения глобального климата, является изменение циркуляционных систем океана. Один из способов переноса солнечной энергии от экватора к полюсам — глобальный перенос океанических вод (см. стр. 32), изначально управляемый перепадами содержания тепла и соли, известный как термохалинная циркуляция ("термо" — тепло и "халин" — соль).

В настоящее время теплое течение Гольфстрим, проникающее далеко на север Атлантического океана, нагревает атмосферу и приносит наибольшую часть влаги, которая выпадает в виде осадков над Северной Европой. При движении на север воды океана становятся холоднее и плотнее до тех пор, пока не станут тяжелее нижних слоев воды и не опустятся глубоко в океан. Такое опускание вод, наблюдаемое, главным образом, в морях на севере Северной Атлантики и в Лабрадорском море, и управляет глобальной термохалинной циркуляцией (иногда этот процесс называют "конвейерной лентой"). Такое опускание плотной морской воды заставляет более теплые воды перемещаться к северу, помогая доставлять туда тепло, которое делает зимы в Европе теплее, чем в регионах Северной Америки, расположенных на тех же широтах.

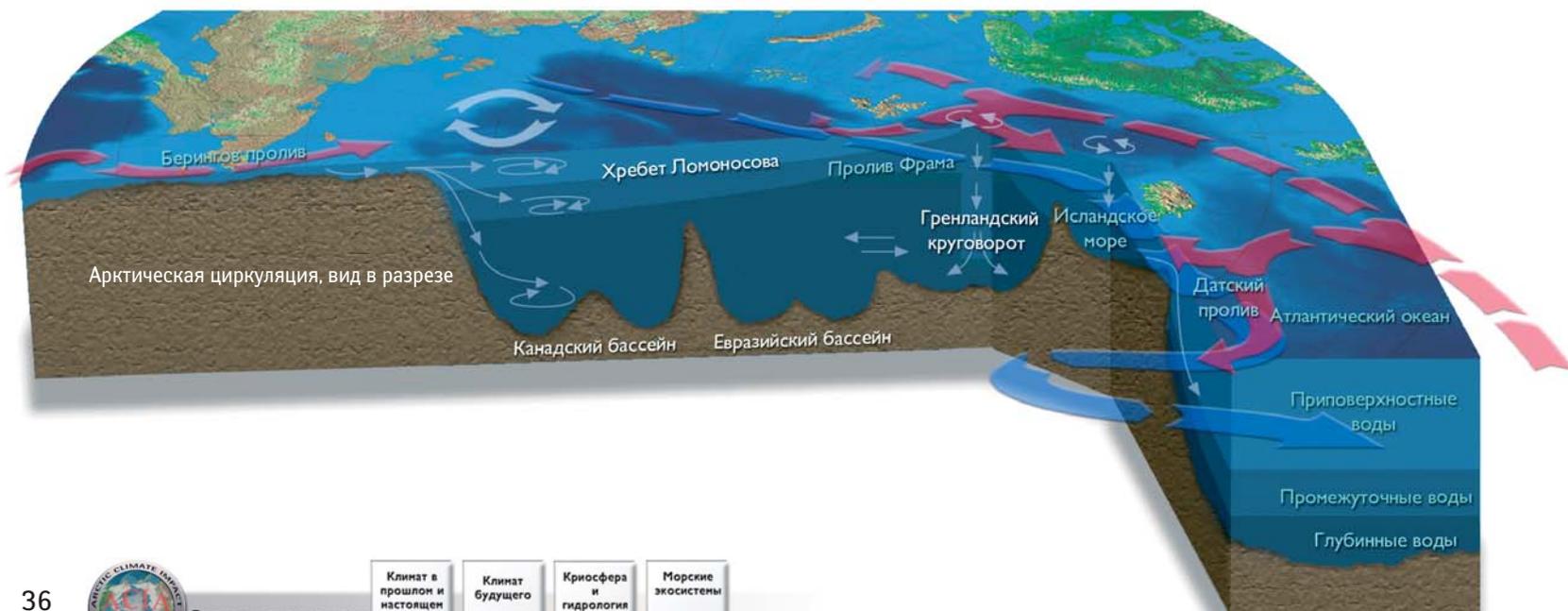


Термохалинная циркуляция в Арктике



Образование морского льда также делает приповерхностные воды более солеными и плотными, так как при образовании льда выделяется соль.

В мелких прибрежных морях такая вода становится достаточно соленой и плотной, чтобы опуститься вниз. Затем вдоль континентального шельфа она стекает в глубины океана, внося вклад в формирование глубинных вод и в дальнейший перенос на север тепла из тропиков. Этот процесс тонко сбалансирован; если вода станет менее соленой вследствие поступления пресной воды, приносимой стоком рек и осадками, или, если температура не опустится достаточно низко для формирования морского льда, то скорость образования донных вод упадет, и меньшее количество тепла из тропических регионов будет переноситься океаном к северу и смягчать зимы в Европе.

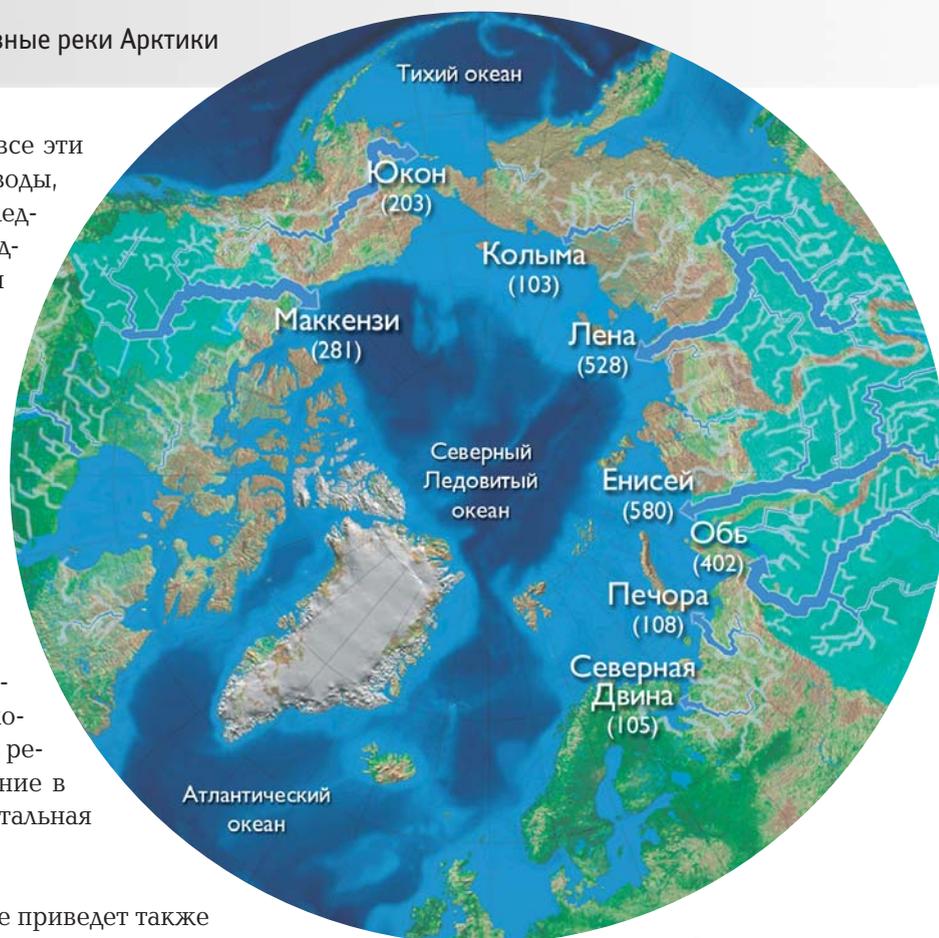


Климат в прошлом и настоящем	Климат будущего	Криосфера и гидрология	Морские экосистемы
2	4	6	9

Согласно прогнозу, изменение климата повлияет на все эти процессы, вызывая увеличение притока пресной воды, приносимой реками в Северный Ледовитый океан вследствие таяния ледников и увеличения количества осадков, а также потепление океана и снижение скорости образования более соленой и плотной воды при формировании морского льда.

Замедление термохалинной циркуляции может иметь несколько важных глобальных последствий. Так как перемешивание океана является важным механизмом переноса углекислого газа в глубины океана, замедление этой циркуляции позволит концентрации углекислого газа в атмосфере расти быстрее, обуславливая более интенсивное и продолжительное глобальное потепление. Замедление этой циркуляции океана может также привести к замедлению переноса на север тепла течениями Атлантического океана, тем самым замедляя скорость потепления в регионе и, возможно, вызывая региональное похолодание в течение нескольких десятилетий, даже если вся остальная планета будет испытывать быстрое потепление.

Замедление формирования глубинной воды в Арктике приведет также к уменьшению объемов холодной воды и питательных веществ, повсеместно поднимающихся к поверхности восходящими движениями термохалинной циркуляции. Это может увеличить скорость роста уровня моря (вследствие большего термического расширения), снизить поступление питательных веществ для морской поверхностной биоты и уменьшить перенос углерода в глубины океана, который происходит при опускании на дно содержащих углерод живых организмов после их гибели. Таким образом, то, что может произойти в Арктике, будет иметь последствия во всем мире.



Эта карта показывает основную речную сеть Арктики. Толщина синих линий отражает относительный расход воды в реках, самые толстые линии показывают реки с максимальным расходом. Цифры на карте соответствуют кубическим километрам в год.



Увеличение стока рек

Северный Ледовитый океан является океаном, наиболее подверженным влиянию стока рек, получая 11% мирового стока рек, при этом он содержит только 1% мирового объема морской воды.

За последние 100 лет наблюдается повсеместное увеличение потоков пресной воды, приносимой реками в Северный Ледовитый океан, наибольшее увеличение происходит в зимний период и с 1987 года, что соответствует наибольшему росту температуры воздуха. Наступление весеннего максимума стока наблюдается раньше на многих реках. Согласно модельным расчетам в следующие 100 лет произойдет увеличение годового стока рек на 10–25%, с наибольшим возрастанием в зимний и весенний периоды. Если потепление в летний сезон вызовет увеличение потерь влаги из-за испарения, то, уровень в реках и скорость стока в летний сезон, возможно будут снижаться относительно современных значений.



Фиолетовая линия показывает отклонения суммарного стока европейских рек зимой (с декабря по март) от среднего за длительный период времени, а синяя линия показывает изменения глобальной средней приземной температуры.

2 Потепление Арктики и его воздействия оказывают влияние на весь мир



Распределение вечной мерзлоты

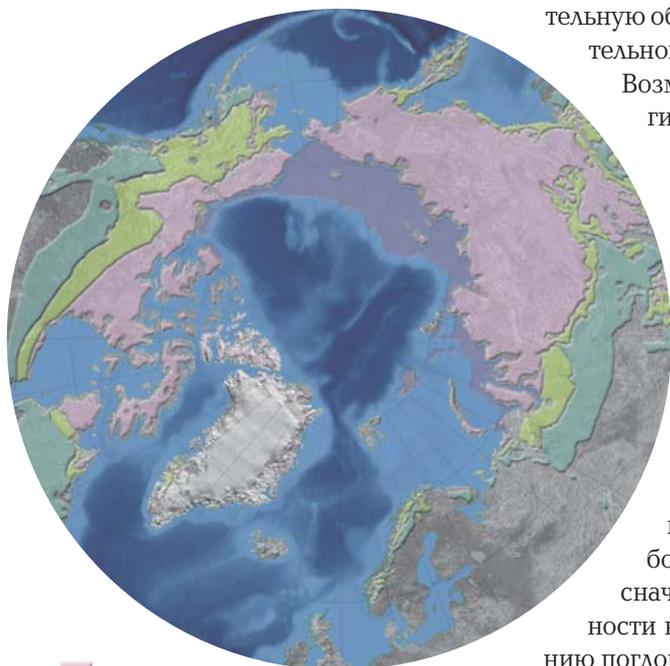
Третья обратная связь: эмиссии парниковых газов

Третья обратная связь, посредством которой процессы, происходящие в Арктике, могут влиять на изменение глобального климата, это изменение процесса обмена парниковыми газами между атмосферой и арктическими почвами и осадочными породами, которые, вероятно, будут затронуты при потеплении воздуха и воды.

Поступление метана и углекислого газа от вечной мерзлоты

Углерод в настоящее время находится в связанном состоянии как органическое вещество в слое вечной мерзлоты (замерзшая почва), присутствующей на большей части территории Арктики. Огромные количества углерода аккумулированы в обширных торфяных болотах Сибири и некоторых частей Северной Америки. В течение лета, когда поверхностный слой вечной мерзлоты оттаивает, органическое вещество этого слоя разлагается, высвобождая метан и углекислый газ в атмосферу.

Потепление приводит к увеличению количества высвобождаемого газа и может создать положительную обратную связь, при которой более сильное потепление будет приводить к дополнительному высвобождению парниковых газов, что вызовет еще большее потепление и т.д. Возможная величина такой эмиссии газа зависит от влажности почвы и многих других факторов, и, таким образом, заключает значительные неопределенности.



- постоянная
- прерывистая
- островная
- субмаринная

Слой субмаринной вечной мерзлоты наблюдается в широкой области континентального шельфа. Узкие зоны прибрежной вечной мерзлоты, возможно, присутствуют вдоль большей части арктического побережья.

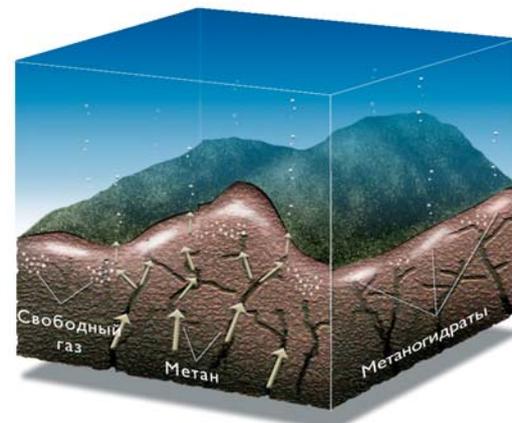
Метан и углекислый газ в лесах и тундре

Северные леса и арктическая тундра содержат в себе один из самых больших запасов углерода на суше, преимущественно в виде растительного материала в лесах и в виде почвенного углерода в тундре. Метан улавливает и задерживает тепло в земной атмосфере почти в 23 раза сильнее углекислого газа (при приведении к 100-летнему временному горизонту). Метан образуется при разложении материала отмерших растений во влажных почвах, таких как болота и тундровые озера. Поступление метана в атмосферу, в общем случае, возрастает при росте температуры и количества осадков, хотя в районах, где наблюдается засуха, метан может поглощаться лесами и тундровыми почвами. Углекислый газ поступает в атмосферу при процессах разложения, происходящих в почвах в более сухих районах и при горении деревьев в лесах. Рост температуры приведет сначала к более быстрому разложению, но вероятная замена арктической растительности на более продуктивную растительность юга, как ожидается, приведет к увеличению поглощения углерода, за исключением непригодных и, в частности, засушливых областей. Не известно, будет ли чистый эффект от этих изменений состоять в возрастании суммарного поглощения углерода при происходящем изменении климата, хотя последние исследования предполагают, что в Арктике, в целом, более продуктивные виды растительности увеличат запас углерода в экосистемах.

Метаногидраты в прибрежной части Северного Ледовитого океана

Огромные количества метана в твердом замерзшем состоянии, называемые метаногидратами или клатратами, законсервированы в вечной мерзлоте и в осадочных отложениях полярного океана на небольших глубинах. Если температура вечной мерзлоты или воды на ложе морского дна вырастет на несколько градусов, то может произойти разрушение этих гидратов с высвобождением метана в атмосферу. Величина эмиссии метана из этого источника вследствие изменения климата является менее определенной, чем величины других эмиссий, рассматриваемых здесь, так как этот процесс потребует более сильного потепления и более долгого периода, чтобы стать заметным. Тем не менее, если бы такие выбросы действительно произошли, воздействия на климат были бы очень значительными.

Метаногидраты, заключенные в толщу морского дна



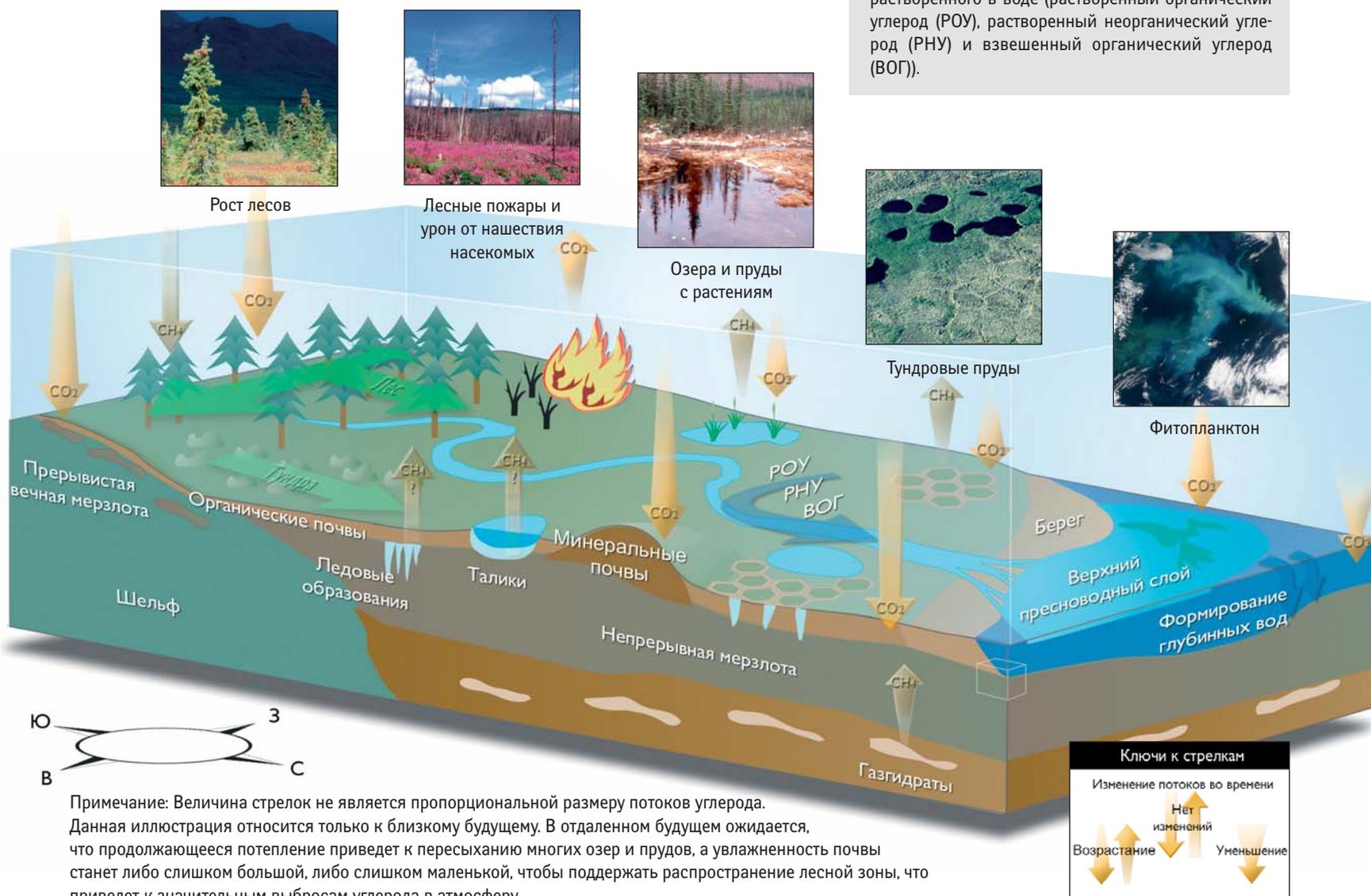
Криосфера и гидрология	Тундра и полярные пустыни	Пресноводные экосистемы	Морские экосистемы	Леса и сельское хозяйство
6	7	8	9	14



Поглощение углерода океанами

До настоящего времени Северный Ледовитый океан не играл очень большой роли в глобальном бюджете углерода, так как поглощение углекислого газа из воздуха ограничивалось достаточно протяженным ледовым покровом. Кроме этого, поступление углерода в океан для поддержания биологической продуктивности под многолетним морским льдом не являлось существенным по сравнению с другими районами Мирового океана. В более теплых климатических условиях, однако, количество углерода, поглощаемого Северным Ледовитым океаном, может значительно возрасти. С уменьшением площади морского льда больше углекислого газа, вероятно, будет поглощаться очень холодными водами. Так как плотная вода образуется в сезон формирования морского льда, то дополнительное количество углекислого газа может переноситься в это время нисходящими движениями. Возросшая биологическая продуктивность в открытых водах может также привести к увеличению переноса углерода вниз опускающимися на дно отмершими живыми организмами, особенно если возросший сток рек будет приносить больше доступных питательных веществ. Эти изменения, вероятно, являются важными в региональном масштабе, но общая область изменений не является достаточно большой, чтобы значительно снизить концентрации углекислого газа во всей атмосфере.

Эта схема показывает изменения в углеродном цикле в Арктике при потеплении климата. Например, начиная с левого края рисунка, северные леса поглощают CO_2 из атмосферы. Как ожидается, это поглощение будет возрастать, хотя число лесных пожаров и повреждения от насекомых в некоторых районах возрастут, высвобождая в атмосферу большее количество углерода. Возрастающее количество углерода будет также переходить из тундры в пруды, озера, реки и на континентальный шельф в виде углерода, растворенного в воде (растворенный органический углерод (РОУ), растворенный неорганический углерод (РНУ) и взвешенный органический углерод (ВОГ)).



2 Потепление Арктики и его воздействия оказывают влияние на весь мир



“В тот год [2002] таяние началось так рано и так интенсивно — оно просто обрушилось на меня. Я никогда не видел, чтобы прежде сезонное таяние наблюдалось так высоко на ледниковом щите и оно никогда не начиналось так рано весной”.

Конрад Стеффан,
Колорадский Университет, США

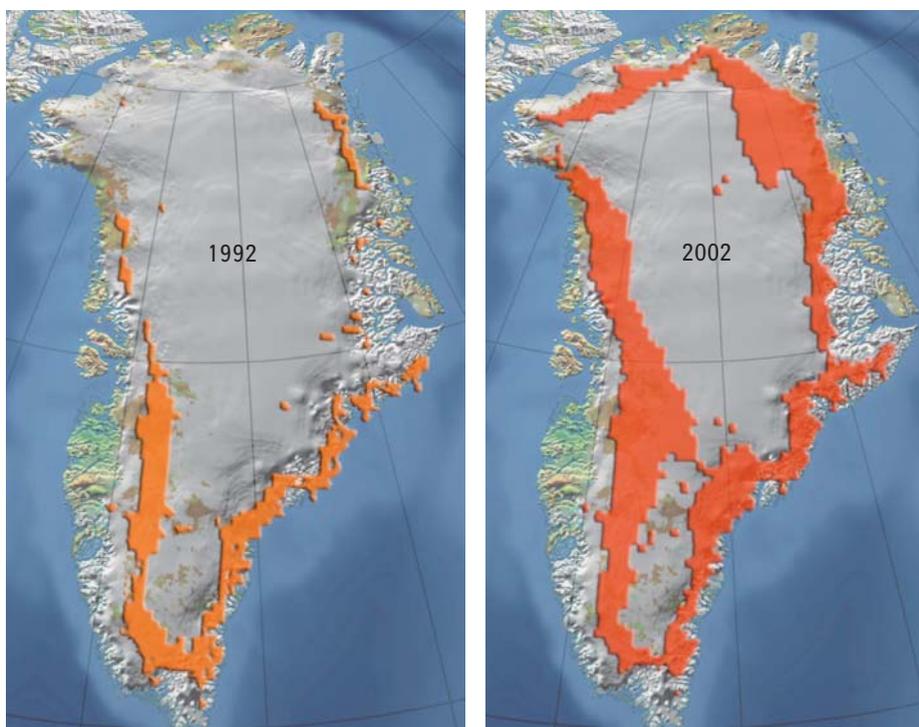
Тающие ледники вносят свой вклад в рост уровня Мирового океана

Общий объем материкового льда в Арктике оценивается в 3 100 000 кубических километров, что соответствует эквивалентному росту уровня моря на 8 м. Большая часть ледников и ледовых шапок в Арктике сокращается с начала 1960-х годов, с ускорением этой тенденции в 1990-х годах. Небольшое число ледников, особенно в Скандинавии, прибавили в массе вследствие роста количества осадков, что превосходило потери за счет таяния в некоторых районах.

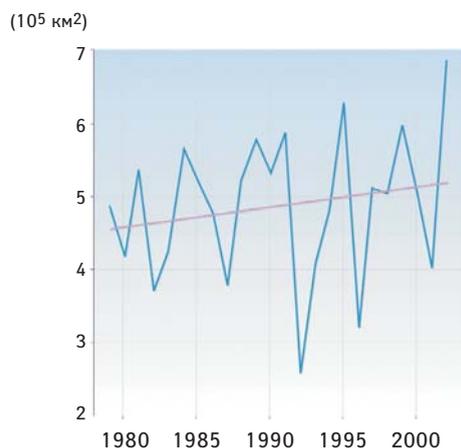
Гренландский ледниковый щит является самым большим скоплением материкового льда Арктики. Максимальная область поверхностного таяния на ледниковом щите возросла, в среднем, на 16% с 1979 по 2002 год, что сопоставимо по площади с размерами Швеции, с заметными колебаниями из года в год. Общая площадь поверхностного таяния на Гренландском ледниковом щите побила все рекорды в 2002 году, когда граница области таяния достигла рекордной высоты 2000 м. Спутниковые данные показывают растущую тенденцию увеличения области таяния с 1979 г. Эта тенденция прерывалась в 1992 г. после извержения вулкана Пинатубо, вызвавшего кратковременное глобальное похолодание, так как частицы, выброшенные из вулкана в атмосферу, снизили количество солнечного света, достигающего поверхности.

Последние исследования ледников Аляски показывают возрастание скорости таяния. Связанный с этим рост уровня моря почти в два раза превысил вклад в повышение уровня моря из-за таяния Гренландского ледникового щита за последние 15 лет. Такое быстрое от-

Распространение зоны таяния Гренландского ледникового щита



Распространение зоны таяния Гренландского ледникового щита (максимальная площадь зоны таяния, 1979–2002 гг.)



Площадь сезонного поверхностного таяния Гренландского ледникового щита наблюдается со спутника с 1979 г. и характеризуется положительным трендом. Зона таяния, где летнее нагревание превращает снег и лед на краях ледникового щита в озера талой воды, распространилась внутрь ледника и поднялась до рекордной высоты в последние годы. Просачивание талой воды вниз через трещины в ледниковом щите может ускорять процесс таяния и в некоторых районах позволяет льду легче скользить по скальному основанию, ускоряя движение льда к морю. Помимо вклада в рост уровня Мирового океана этот процесс поставляет дополнительную пресную воду в океан, что может оказать воздействие на циркуляцию океана и, тем самым, на региональный климат.



ступление ледников Аляски составляет около половины оцененной потери массы всеми ледниками мира, и является самым большим вкладом в рост уровня моря от таяния ледников, измеренным до сих пор.

Расчеты по глобальным моделям климата показывают, что вклад арктических ледников в рост уровня Мирового океана будет увеличиваться на протяжении следующих 100 лет с возрастающей скоростью, и составит от 4 до 6 см к 2100 г. Последние исследования показывают, что эта оценка может быть выше вследствие увеличения таяния арктических ледников за последние два десятилетия.

За более долгий период вклад Арктики в рост уровня Мирового океана, согласно прогнозам, будет гораздо больше, так как ледниковые щиты будут реагировать на изменение климата и вносить вклад в рост уровня моря на протяжении тысячелетий. Климатические модели показывают, что локальное потепление в Гренландии, вероятно, превосходит среднемировое в один – три раза. Согласно моделям ледниковых щитов, локальное потепление такого масштаба, в конце концов, приведет, фактически, к полному таянию Гренландского ледникового щита с соответствующим ростом уровня моря на 7 метров.

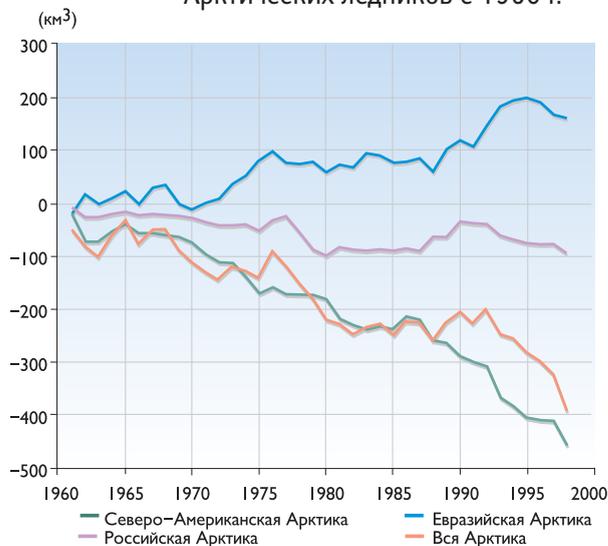


“Ледники отступают очень заметно, и названия местностей больше не совпадают с прежними очертаниями земли. Например, Сермиарсуусуак (‘Второй по величине большой ледник’), который прежде простирался до моря, больше не существует”.

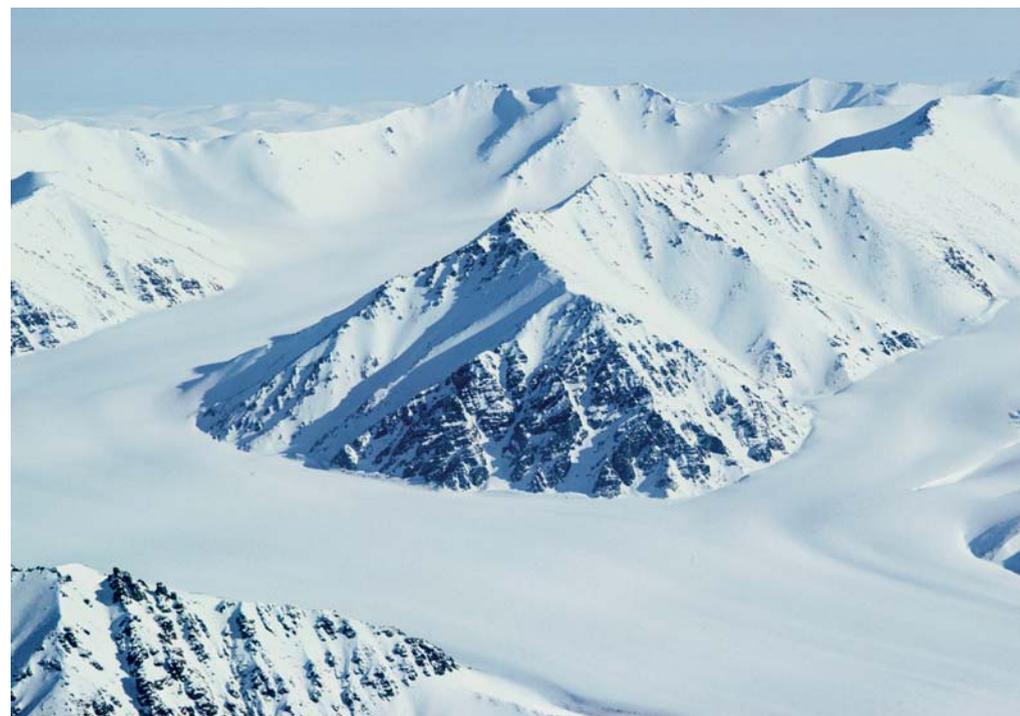
Усаккак Куяукитсок
Каанаак, Гренландия



Накопленное изменение объема Арктических ледников с 1960 г.



С 1961 по 1998 гг. Арктика в целом понесла крупные потери в объеме ледников. Ледники в северо-американской части Арктики потеряли наибольшую массу (около 450 км³), с ростом потерь с конца 1980-х. Ледники в Российской части Арктики также имели значительные потери (около 100 км³). Ледники в европейской части Арктики демонстрируют рост объема, так как увеличение количества осадков в Скандинавии и Исландии добавило к массе ледников больше, чем убавил процесс таяния за тот же период.



2 Потепление Арктики и его воздействия оказывают влияние на весь мир



Согласно прогнозам, рост уровня моря окажет серьезное влияние на сообщества и экономику прибрежной зоны, острова, дельты рек, порты и большие поселения людей, живущих в прибрежных районах во всем мире.

Воздействия роста уровня Мирового океана

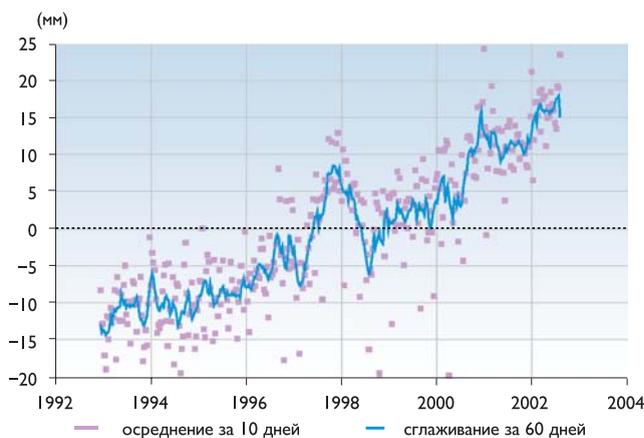
Рост уровня моря может оказать значительные воздействия на общества и экосистемы во всем мире. Изменение климата приводит к росту уровня моря, изменяя плотность и объем воды в океанах. Первая и наиболее значимая причина: при нагревании вода расширяется и менее плотная вода занимает больше места. Это "термическое расширение", согласно прогнозам, даст наибольший вклад в рост уровня моря в ближайшие 100 лет и будет продолжаться много веков. Вторая причина: потепление усиливает таяние ледников и ледовых шапок (т.е., материкового льда), что увеличивает количество воды, поступающей в океаны.

Средний глобальный уровень моря рос почти на три миллиметра в год в период 1990-х и, примерно, на величину около двух миллиметров в год в течение нескольких десятилетий в предыдущий период. Эта скорость, в свою очередь, в 10–20 раз больше, чем оценка скорости роста для последних нескольких тысячелетий. Основными факторами, определяющими этот рост, являются термическое расширение вследствие нагревания океана и таяние материкового льда, которое увеличивает общий объем воды в океане.

Средний уровень Мирового океана, согласно прогнозам, вырастет на величину от 10 до 90 сантиметров в течение этого столетия, с постепенным ускорением роста к концу столетия. Гораздо более значительный рост уровня моря, согласно прогнозам, произойдет за более длительный период. Ожидается, что рост уровня моря будет различным в разных частях планеты. Согласно прогнозам, этот рост будет наиболее значительным в Арктике, в частности, из-за прогнозируемого увеличения притока пресной воды в Северный Ледовитый океан и вызываемого этим снижения солености и, таким образом, плотности.

Согласно прогнозам, рост уровня моря окажет серьезное влияние на сообщества и экономику прибрежной зоны, острова, дельты рек, порты и большие поселения людей, живущих в прибрежных районах во всем мире. Рост уровня моря приведет к осолонению заливов и устьев рек. Это увеличит эрозию берегов, особенно там, где прибрежные земли состоят, в основном, из мягких грунтов, а не из скальной породы.

Наблюдаемое повышение уровня Мирового океана



Эти данные, полученные со спутника, запущенного в 1992 году, показывают рост глобального среднего уровня Мирового океана за последнее десятилетие.

Прогнозируемый рост уровня моря

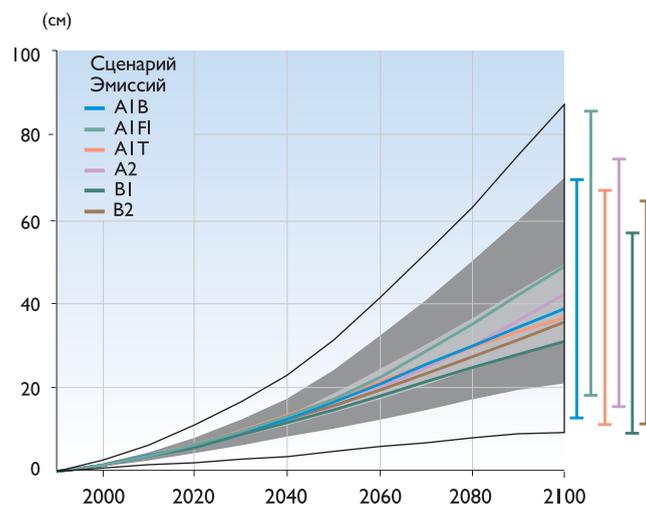


График показывает будущее увеличение среднего уровня моря в метрах, согласно прогнозам с помощью комплекса климатических моделей для шести сценариев эмиссии МГЭИК. Черточками справа показаны диапазоны роста уровня моря, прогнозируемые комплексом моделей для выбранных сценариев эмиссий.

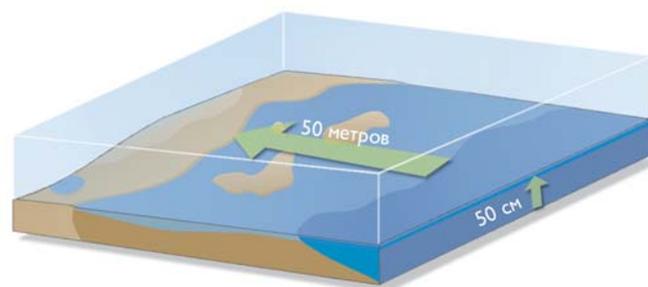


Криосфера и гидрология	Морские экосистемы	Здоровье человека	Инфраструктура
6	9	15	16

На протяженных прибрежных низменностях и в дельтах рек находятся важные экосистемы, которые будут затронуты растущим уровнем моря. Болота распространятся дальше вглубь материков, возрастет число случаев наводнений в прибрежных районах.

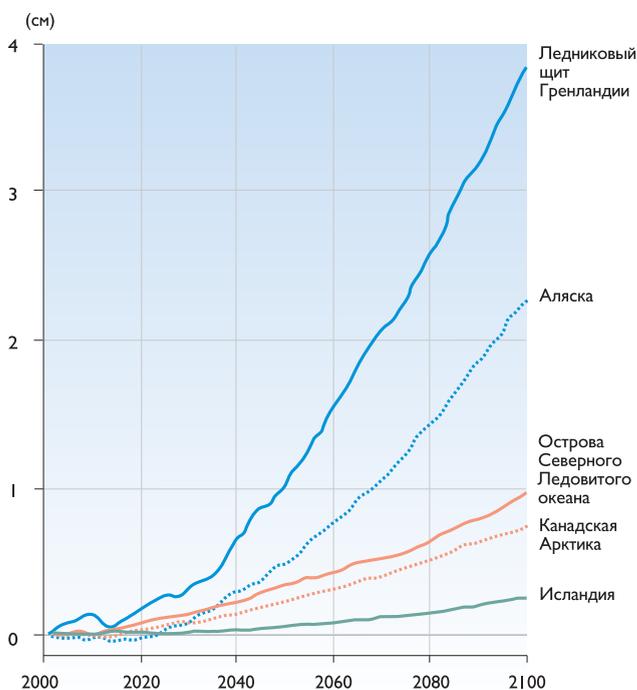
Воздействия роста уровня моря, вероятно, будут иметь наиболее сильные последствия для прибрежных территорий с пологими берегами, районов, окружающих эстуарии, и берегов, оседающих под действием тектонических сил, отложений осадочных пород или в результате добычи нефти или подземных вод. Низкие острова Тихого океана (Маршалловы, Кирибати, Тувалу, Тонга, Лайн, Микронезия, Кука), Атлантического океана (Антигуа, Невис) и Индийского океана (Мальдивы), очень вероятно, сильно пострадают.

В Бангладеш около 17 миллионов человек проживают в районах с высотой над уровнем моря меньше одного метра, и они уже уязвимы для наводнений. В Юго-Восточной Азии ряд очень крупных городов, включая Бангкок, Бомбей, Калькутту, Дакку и Манилу (каждый с населением более пяти миллионов человек) расположены на прибрежных низменностях или в дельтах рек. В США Флорида и Луизиана являются особенно уязвимыми к воздействию повышения уровня моря в будущем.



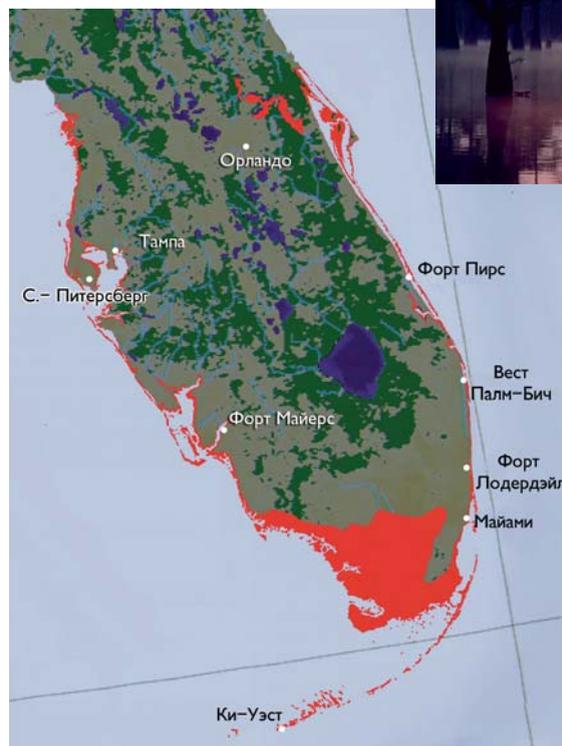
Повышение уровня моря на 50 см приведет, в среднем, к отступлению береговой линии на 50 м, если ландшафт относительно плоский (как, например, в большинстве прибрежных равнин), вызывая значительные экономические и социальные воздействия, а также воздействия на окружающую среду.

Прогнозируемый вклад Арктического материкового льда в изменение уровня моря



На данном графике сравниваются прогнозируемые вклады разных районов Арктики в изменение уровня моря вследствие таяния материкового льда. Согласно прогнозу, вклад Гренландского ледникового щита, вследствие его размера, будет наибольшим. Хотя ледники Аляски занимают гораздо меньшую площадь, их вклад, согласно прогнозу, также будет значительным. Согласно прогнозу, общий вклад таяния материкового льда в Арктике в повышение уровня Мирового океана составит к 2100 г. около 10 см. Основной причиной роста уровня моря является термическое расширение вследствие потепления океана, оценка этого вклада не приведена на данной диаграмме.

Районы во Флориде, которые подвергнутся затоплению при повышении уровня моря на 100 см.



2 Потепление Арктики и его воздействия оказывают влияние на весь мир



Доступ к ресурсам Арктики изменится

Арктика является мировым поставщиком природных ресурсов, и изменение климата будет оказывать воздействие на эти ресурсы разными путями, которые рассматриваются ниже более детально. Ресурсы Арктики имеют экономическое значение для торговли: киты, тюлени, птицы и рыба давно продаются в более южных местах. В арктических морях находятся некоторые из самых старых и наиболее продуктивных рыбопромысловых районов, которые обеспечивают значительными уловами многие арктические страны, также как и весь остальной мир. Например, Норвегия является одним из крупнейших мировых экспортеров рыбы.

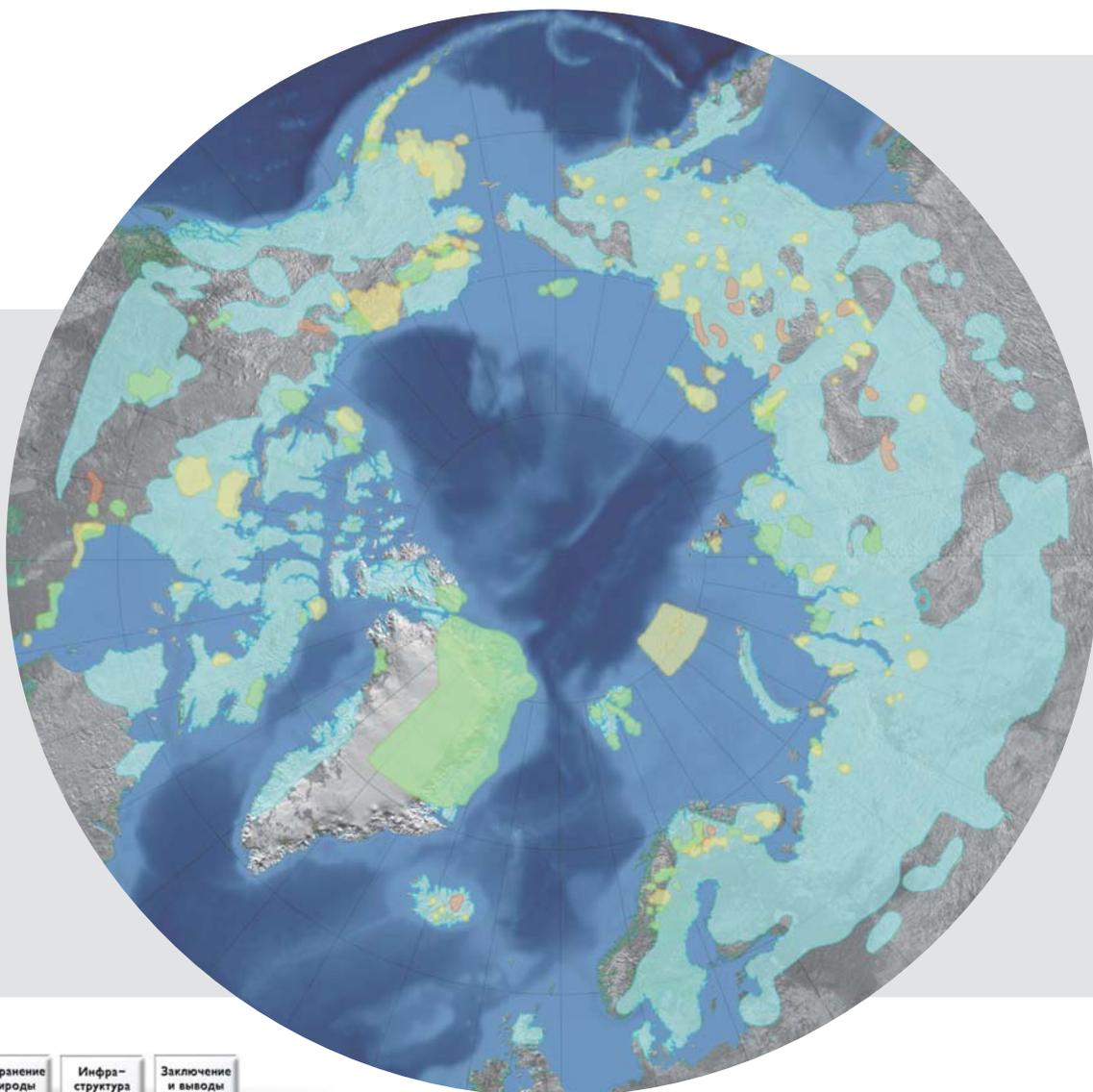
В Арктике есть значительные запасы нефти и газа, большая часть которых находится в России, несколько месторождений — в Канаде, на Аляске, в Гренландии и Норвегии. Арктика также хранит большие запасы минералов — от драгоценных камней до удобрений. Россия добывает наибольшее количество минералов, Канада и Аляска также имеют значительную добывающую промышленность, поставляющую сырье мировой экономике. Доступ по морю к нефти, газу и минеральным ресурсам, вероятно, станет легче во многих районах в более теплой Арктике, с положительными воздействиями для одних из них и отрицательными — для других. Доступ к ресурсам по матерiku, вероятно, станет труднее во многих районах вследствие сокращения сезона, когда земля достаточно промерзает для возможности совершения перевозок.

Доступ по морю к нефти, газу и минеральным ресурсам, вероятно, станет легче во многих районах в более теплой Арктике.

Регионы Арктики, находящиеся под защитой

Стратегии сохранения биоразнообразия в Арктике путем создания охраняемых районов имеют большое значение для защиты естественных районов обитания от прямого влияния человека, но они не защищают от изменяющегося климата. Эта карта показывает, как изменение климата будет воздействовать на охраняемые в настоящее время районы, создавая опасные условия живым ресурсам, для защиты которых были созданы эти охраняемые районы.

- Природный заповедник/район дикой природы, национальный парк
- Памятник природы, район обитания/район регулирования видов
- Ландшафт под защитой/морской ландшафт. Район регулирования ресурсов, находящийся под защитой.
- Районы, где согласно прогнозам, произойдут изменения в растительности



Изменения арктических экосистем будут иметь глобальные последствия

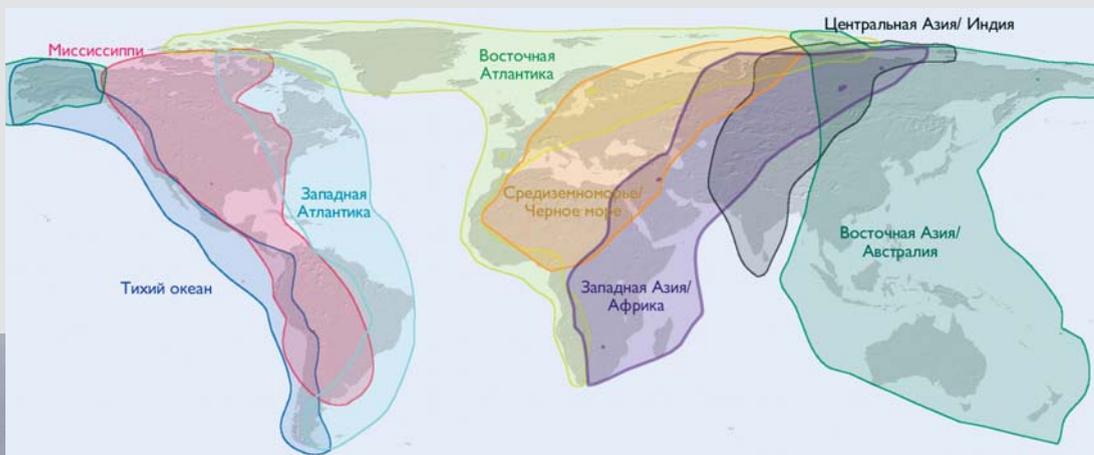
Изменения арктических экосистем, обусловленные изменением климата, будут иметь последствия не только для местного населения и других живых организмов, которые зависят от этих экосистем как от источников пищи, мест обитания, источников других видов товаров и услуг, но и окажут воздействие на глобальном уровне вследствие существования многих связей между Арктикой и регионами, расположенными значительно южнее. Многие виды живых организмов во всем мире зависят от летних районов размножения и кормления, расположенных в Арктике, и изменение климата окажет значительное влияние на некоторые из этих мест обитания.

Например, несколько сотен миллионов птиц каждое лето мигрируют в Арктику, и их успешное пребывание в Арктике формирует их популяцию в более низких широтах. Важные районы размножения и гнездования, согласно прогнозам, резко сократятся вследствие продвижения на север границы лесной зоны и вторжения леса в тундру, а также вследствие того, что время прилета птиц в Арктику больше не будет совпадать с возможностью доступа к таким источникам пищи, как насекомые. Одновременно, повышение уровня моря во многих регионах приведет к разрушению пространства тундры, начиная с северных границ, еще более сокращая важные для многих живых видов районы обитания. Согласно прогнозам, ряд видов птиц, включая несколько видов морских птиц, находящихся под угрозой вымирания, уже в этом веке потеряют более 50% их районов размножения.



Многие виды живых организмов во всем мире зависят от летних районов размножения и кормления, расположенных в Арктике, и изменение климата окажет значительное влияние на некоторые из этих мест обитания.

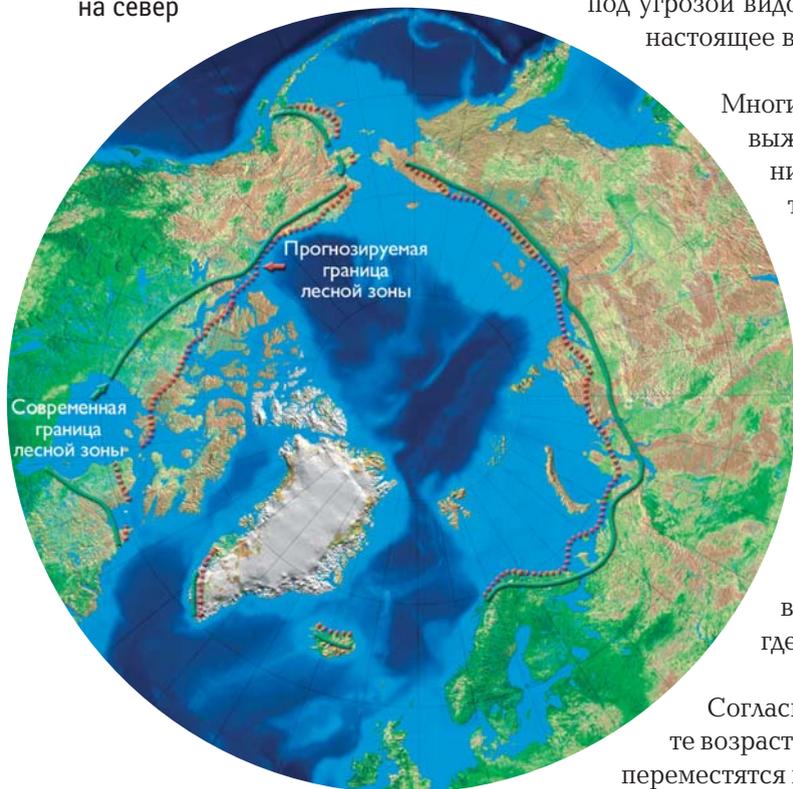
Миграционные пути птиц





Согласно прогнозу, изменение климата вызовет сдвиги зон растительности, так как рост температуры будет благоприятствовать развитию более высокой и густой растительности.

Смещение границы лесной зоны на север



Смещение зон растительности

Изменения арктических ландшафтов, обуславливаемых изменением климата, имеют значение для местного населения и животных с точки зрения пищи, топлива, культуры и среды обитания. Эти изменения могут также проявиться в глобальном масштабе, так как многие процессы, относящиеся к арктическим ландшафтам, оказывают влияние на глобальный климат и ресурсы. Отдельные изменения арктических ландшафтов уже происходят, и, согласно прогнозам, в будущем станут еще более значительными.

Основные зоны растительности Арктики включают в себя полярные пустыни, тундру и северную часть бореального леса. Самой северной зоной, занимающей наибольшую часть высоких широт Арктики, является полярная пустыня, для которой характерны открытые участки голой земли и отсутствие даже самых маленьких древесных кустарников. Хотя растительность полярной пустыни очень бедна, в этой зоне обитают овцебыки и мелкие подвиды северного оленя. Тундра характеризуется низкой кустарниковой растительностью.

Согласно прогнозу, изменение климата вызовет сдвиги растительности, так как рост температуры будет благоприятствовать развитию более высокой и густой растительности. Таким образом, изменение климата будет способствовать проникновению лесов в арктическую тундру, а тундры — в полярные пустыни. Временные рамки этих сдвигов будут различными в разных регионах Арктики. Там, где присутствуют благоприятные почвы и другие подходящие условия, изменения, вероятно, станут заметны в этом столетии. Где нет таких условий, можно ожидать более медленных изменений. Такие изменения растительности вместе с увеличением уровня моря, согласно прогнозам, сократят площадь тундры до минимальной (по крайней мере, за последнюю 21 тысячу лет) величины, что значительно сократит районы размножения для многих птиц и площади выпаса для материковых животных, которые зависят от открытого ландшафта мест обитания в тундре и полярных пустынях. Очень вероятно, что произойдет не только вымирание отдельных, находящихся под угрозой видов, но, согласно прогнозам, резкое сокращение тех видов, которые в настоящее время широко распространены.

Многие механизмы адаптации, которые позволяют растениям и животным выживать в условиях холода, также ограничивают их способность соперничать с вторгающимися видами, стимулируемыми климатическим потеплением. Высокая скорость прогнозируемых изменений климата также создает особые сложности для способности адаптации многих видов. Таким образом, ожидается, что основным откликом арктических растений и животных на потепление будет перемещение. Виды с юга, передвинув свои границы зон обитания к северу, иногда на расстояния до 1000 км, очень вероятно, сместят некоторые арктические виды (чье перемещение к северу будет ограничено Северным Ледовитым океаном). Такие смещения границ зон обитания уже начались у некоторых видов птиц, рыб и бабочек. Морские птицы, мхи и лишайники находятся среди групп, которые, как ожидается, будут приходить в упадок с ростом потепления. Арктика является важным глобальным хранилищем разнообразных мхов и лишайников, включающим 600 видов мха и 2000 видов лишайников — больше, чем где-либо еще на Земле.

Согласно прогнозам, общее число видов в Арктике при более теплом климате возрастет из-за появления видов с юга. Но целые сообщества и экосистемы не переместятся как одно целое. Скорее, границы района обитания каждого вида будут смещаться в соответствии с его чувствительностью к изменению климата, с его способ-

ЧТО ВЫЗОВЕТ ШИРОКИЙ ДИАПАЗОН ВОЗДЕЙСТВИЙ

ностью к перемещению, в соответствии с продолжительностью жизни и потребностями в почве, влаге, и других компонентах. Границы районов обитания животных, в общем случае, могут смещаться значительно быстрее, чем растений, и такие крупные мигрирующие животные как карибу, могут перемещаться гораздо более охотно, чем мелкие животные, такие как лемминги. Также должны быть доступны пути миграций, например, текущие на север реки в качестве каналов для перемещения рыбы из южной части региона. Некоторые пути миграции могут быть заблокированы вследствие происходящих изменений. Все эти варианты приводят к разрушению современных сообществ и экосистем и образованию новых сообществ и экосистем с неизвестными последствиями.



Современная растительность Арктики

Прогнозируемая растительность, 2090–2100 гг.



- Лед
- Полярные пустыни/полупустыни
- Тундра
- Северные леса
- Леса умеренного пояса

Современная растительность Арктики и соседних регионов на основе данных флористических обзоров.

- Лед
- Полярные пустыни/полупустыни
- Тундра
- Северные леса
- Леса умеренного пояса
- Степь

Прогноз возможного распространения видов растительности для периода 2090–2100 гг., полученный на основе модели Динамики Растительности LPJ, используемой в климатической модели Хэдли2.

Лед



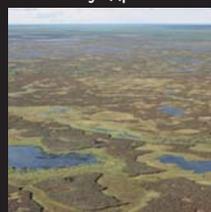
Полярная пустыня



Полярная полупустыня



Влажная тундра



Осоковая/кустарниковая тундра



Северные леса



3 Зоны растительности в Арктике, очень вероятно, сместятся,



Исследования показывают, что увеличение поглощения солнечной радиации будет преобладать над процессом увеличения запасов углерода, что приведет к суммарному увеличению потепления.

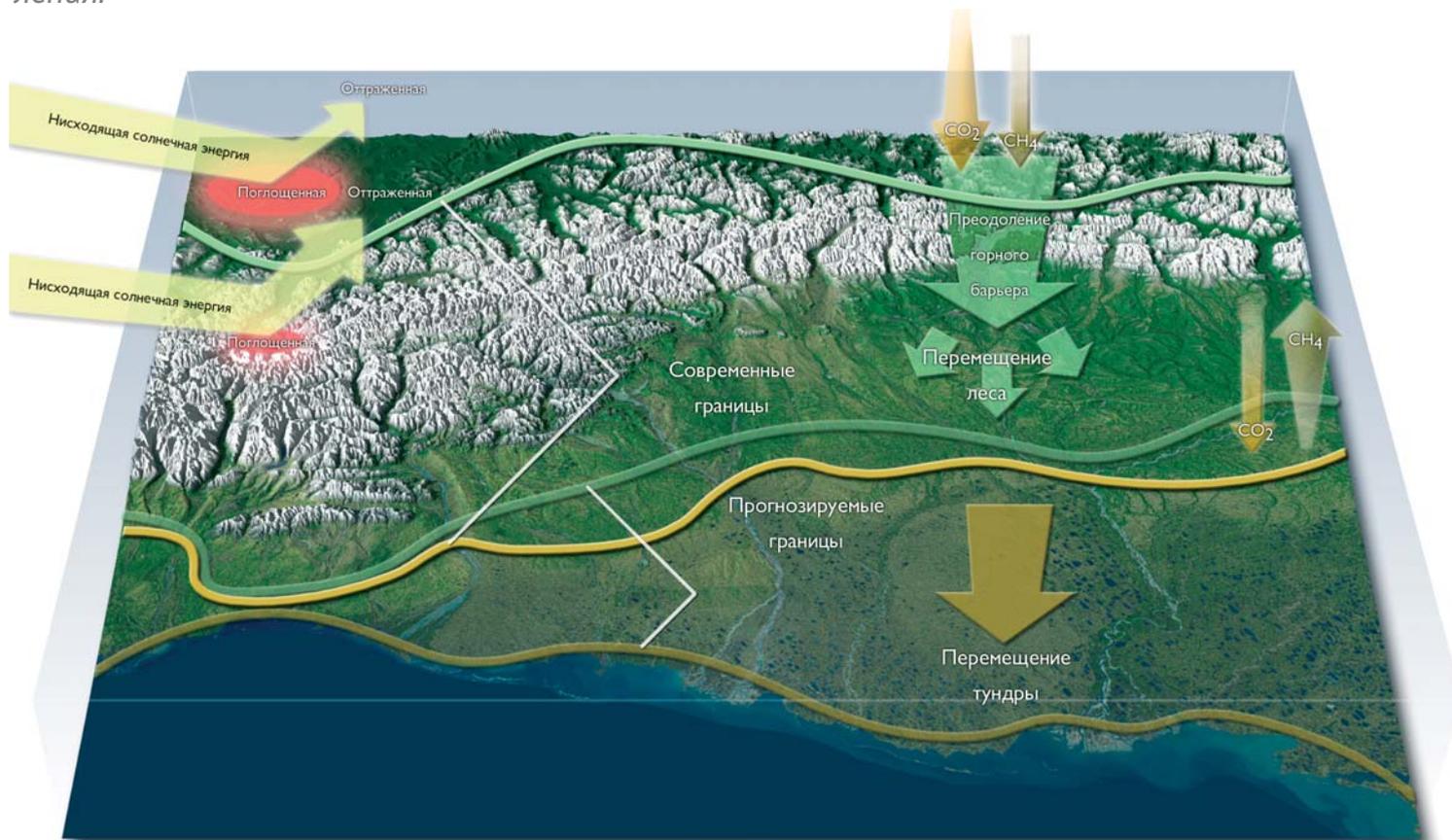
Противоположные воздействия на климат

Прогнозируемое сокращение зоны тундры и расширение лесной зоны приведут к снижению отражательной способности поверхности, усиливая глобальное потепление, так как вновь занимаемые лесом районы являются более темными и рельефными и, таким образом, будут поглощать больше солнечной энергии, чем более светлая тундра, имеющая гладкую поверхность. Например, черная ель имеет наименьшую отражательную способность среди всех типов растений планеты и она, вероятно, будет составлять наибольшую часть в новом видовом составе деревьев Северной Америки. Кроме этого, распространяющиеся леса будут закрывать имеющий высокую отражательную способность снег. Потемнение поверхности, происходящее вследствие этих изменений, образует цикл положительной обратной связи, когда возрастание потепления будет приводить к возрастанию количества деревьев и увеличению покрытой лесом площади, что вызовет еще более сильное потепление и т.д.

С другой стороны, расширяющаяся зона лесной растительности будет биологически более продуктивной, чем существующая растительность тундры, а тундра будет биологически более продуктивной, чем полярные пустыни, которые она замещает. Результаты моделирования показывают, что это может увеличить запасы углерода, при этом слегка снижая прогнозируемую величину потепления. Результирующий эффект от этих противоположных воздействий складывается из многих противоборствующих механизмов, роль которых до конца не ясна. Тем не менее, последние исследования показывают, что увеличение поглощения солнечной энергии будет преобладать над процессом увеличения запаса углерода, что приведет к суммарному увеличению потепления.

Опустынивание: возможный “сюрприз”

Поскольку изменения климата меняют многие компоненты и взаимосвязи между ними, часто трудно предсказать все эффекты взаимодействий на окружающую среду, особенно на длительный период. Если существует определенная уверенность в том, что температура будет расти и суммарное



Тундра и полярные пустыни	Леса и сельское хозяйство
7	14

ЧТО ВЫЗОВЕТ ШИРОКИЙ ДИАПАЗОН ВОЗДЕЙСТВИЙ

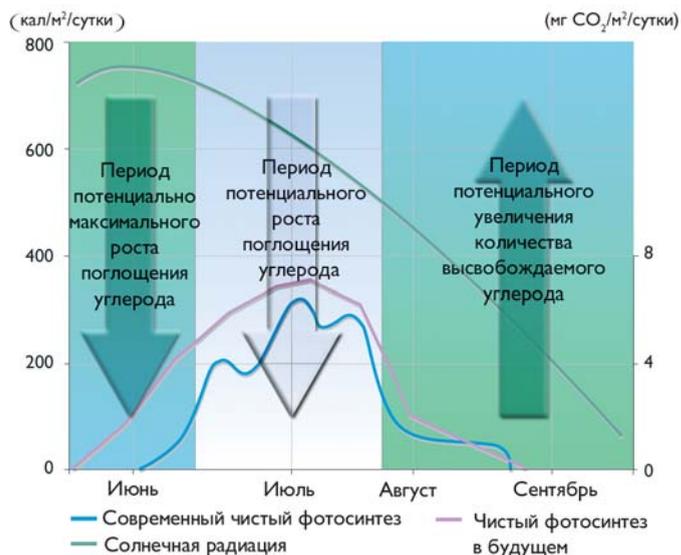
количество осадков за год увеличится, то неизвестно, будет ли сохраняться тенденция увеличения количества осадков с потеплением во всех регионах и во все сезоны. Так как скорость испарения растет с повышением температуры, то если количество осадков не будет увеличиваться достаточно быстро, чтобы компенсировать этот процесс, могут начать пересыхать участки суши.

Другой проблемой является степень протаивания вечной мерзлоты и последующий отток воды от грунта. Например, летнее протаивание деятельного слоя вечной мерзлоты (верхний слой, который оттаивает летом и замерзает зимой) на Барроу (Аляска) в значительной степени зависит сейчас от присутствия воды на поверхности. Однако, эта влага может быть утрачена, если глубина активного слоя, согласно прогнозам, возрастет. Очень вероятно, что это произойдет в некоторых районах Арктики; районы, не покрытые льдом 10 000 лет назад и имеющие на верхней границе вечной мерзлоты мелкозернистые почвы, на которые воздействует ветер, являются особо подверженными пересыханию и эрозии. Данные о климатических условиях прошлого показывают, что такой механизм имел место в холодных и сухих тундрово-степных районах Сибири и Аляски. Эти процессы с продолжением потепления, вероятно, приведут первоначально к озеленению, а в последствии к опустыниванию некоторых районов.



Полярная пустыня

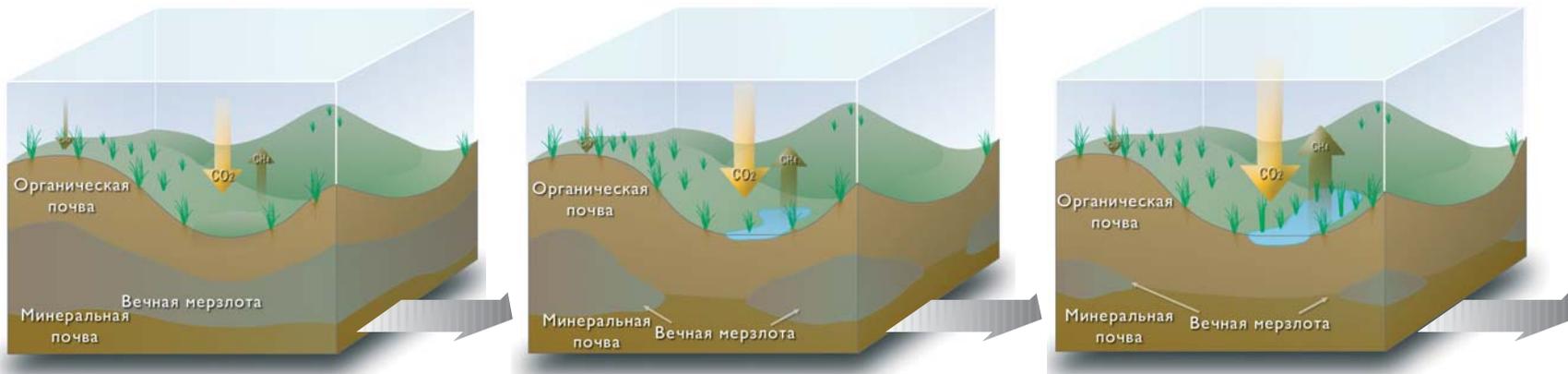
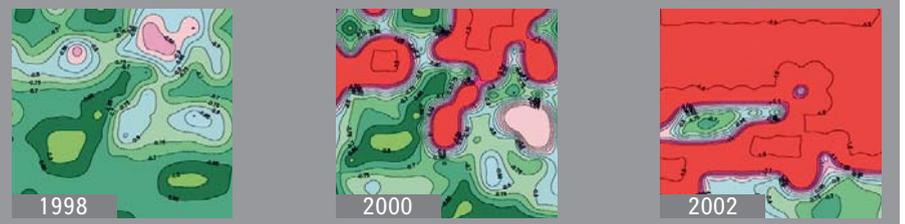
Сезонный переход от стока углерода к источнику углерода



Динамика изменения ландшафта с потеплением



Эта серия рисунков для района в северной Швеции, подобного показанному на фотографии, показывает, что толщина слоя грунта, которая протаивает каждое лето, в последние годы ускоренно возрастает по мере потепления климата. Красным цветом отмечены районы, где грунт протаивает до глубины 1,1 м и более. Временная серия показывает быстрое исчезновение прерывистой вечной мерзлоты в этом районе.



В северной Норвегии, Швеции и Финляндии во многих районах прерывистой вечной мерзлоты есть небольшие холмы или возвышенности с влажными понижениями, для которых характерны свои особые формы растительности (слева). По мере потепления климата вечная мерзлота оттаивает, и площадь влажных областей растет. Более продуктивный вид растительности поглощает больше углекислого газа, однако, увеличение площади влажных районов приводит к более значительной эмиссии метана (посередине) – этот процесс уже наблюдается. В конце концов (справа) вечная мерзлота полностью растает, и баланс между эмиссией метана и поглощением углекислого газа будет зависеть от последующих процессов осушения и увлажнения.



Северный лес собирает, преобразует и распределяет наибольшую часть пресной воды, которая поступает в арктический регион, а изменение климата изменит многие из этих важных функций.



Северные леса

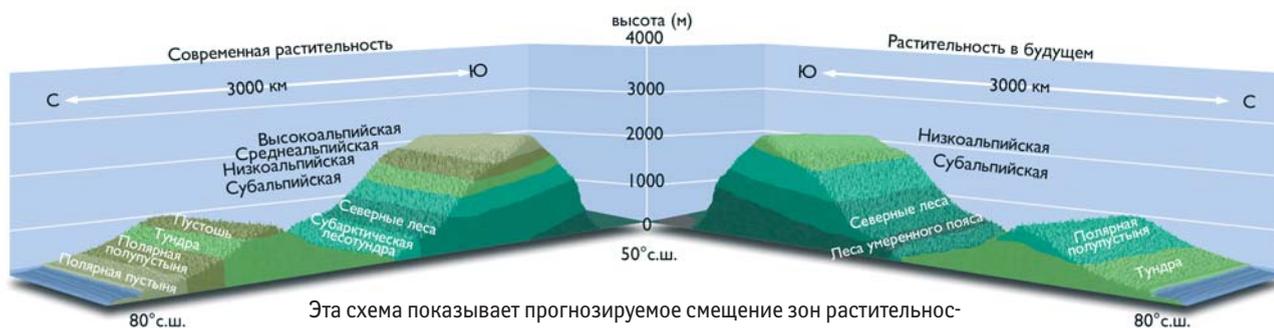
Огромные районы центральной и восточной Сибири и северо-запада Северной Америки являются самыми протяженными районами природного леса на планете. Тремя из четырех стран, обладающими самыми большими лесными районами в мире, являются арктические страны: Россия, Канада и США. Лесные и залесенные районы в арктических странах представляют около 31% всего лесного запаса мира (всех типов лесов), а сам северный лес покрывает около 17% поверхности суши на планете. С потеплением климата бореальные (северные) леса, согласно прогнозам, будут смещаться в Арктический регион вследствие расширения лесной зоны на север.

Бореальные леса имеют огромное мировое значение вследствие их экономической ценности и значимости для окружающей среды. Протяженные районы бореальных лесов в Финляндии, Швеции и некоторых частях Канады интенсивно разрабатываются для производства пиломатериалов, и их вклад составляет 10–30% в общем объеме доходов от экспорта в этих странах. Бореальный лес собирает, преобразует и распределяет большую часть пресной воды, которая поступает в арктический регион, и изменение климата изменит многие из этих важных функций. Лес также является зоной размножения для огромного числа прилетающих сюда перелетных птиц и предоставляет место обитания для пушного зверя, включая росомуху, волка и рысь, также как и для более крупных животных, включая американского лося и карibu, каждое из которых в значительной степени поддерживает экономику локальных северных районов.

Многие воздействия изменения климата в бореальном лесу уже становятся очевидными: замедление скорости роста деревьев некоторых видов и в некоторых районах; увеличение скорости в других; более сильные и интенсивные пожары и нашествия насекомых; а также ряд эффектов вследствие таяния вечной мерзлоты, включая образование новых болот и проседание поверхности и связанную с этими процессами гибель деревьев.

Проблемы укоренения деревьев

Последние исследования в Сибири определенно установили, что деревья произрастали во всей Российской Арктике, на всей территории до самого северного берега на протяжении периода потепления, который наблюдался восемь–девять тысяч лет назад, через несколько тысяч лет после окончания последнего ледникового периода. Останки замерзших деревьев в тех местах, где они росли, дают ясное доказательство, что более теплый климат Арктики позволяет деревьям расти гораздо севернее, чем сейчас. Таким образом, существует это и другие доказательства того, что зоны растительности, крайне вероятно, будут перемещаться на север в течение долгого периода, однако, такой процесс едва ли будет происходить прямолинейно. Различные факторы, включая такие бедствия, как пожары и наводнения, могут либо ускорить, либо заблокировать распространение деревьев в какие-то периоды времени. В дополнение к этому, деятельность человека создает нагрузки, которые могут помешать укоренению деревьев в новых районах. Например, в некоторых районах России граница лесной зоны в действительности отступает к югу вследствие влияния промышленного загрязнения.



Эта схема показывает прогнозируемое смещение зон растительности в Арктике вверх в горы и к северу в результате будущего потепления. Следует отметить различие в высоте границ зон растительности между северными и южными склонами. Распределение зон по высоте и долоте является похожим, но не идентичным.

ЧТО ВЫЗОВЕТ ШИРОКИЙ ДИАПАЗОН ВОЗДЕЙСТВИЙ

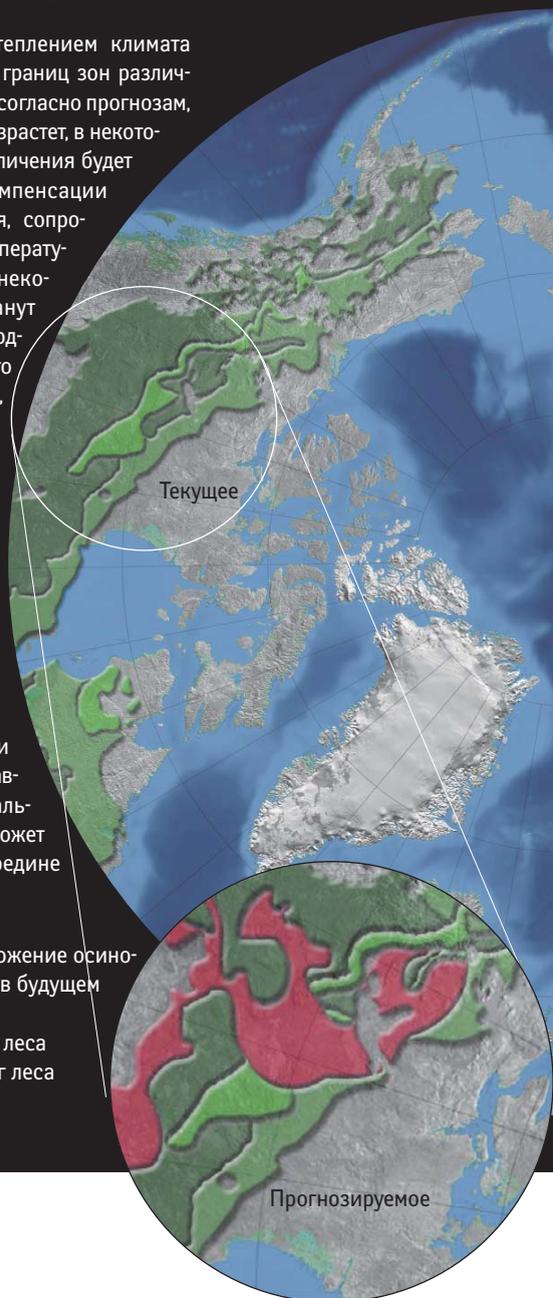
Хотя ожидается, что в общем случае леса будут сдвигаться в районы тундры, некоторые районы, где сейчас растут деревья, не смогут поддерживать этот тип растительности, в первую очередь, из-за пересыхания. Вероятно, климат новых районов окажется подходящим для роста деревьев, но это не гарантирует того, что деревья будут там расти, так как существует ряд препятствий для перемещения деревьев в новые районы. Во-первых, вероятно, будет иметь место запаздывание вследствие того, что некоторые условия, необходимые для роста деревьев, например, подходящие почвы, могут отсутствовать, и для их образования потребуется время. Также, сухая поверхность тундры не является благоприятной для прорастания семян и для укоренения растений. Некоторые типы воздействий, такие как затопление речных пойм, вероятно, облегчат укоренение деревьев в некоторых районах. С другой стороны, в Западной Сибири более влажные климатические условия будут сопровождаться затоплениями с последующим смещением границы лесов к югу.

Различные факторы, включая такие бедствия, как пожары и наводнения, могут либо ускорить, либо заблокировать распространение деревьев; в дополнение к этому, деятельность человека может создавать нагрузки, которые помешают укоренению деревьев в новых районах.

Распространение лесов Северной Америки и прогнозируемые смещения в зону произрастания осины как отклик на потепление климата.

Ожидается, что с потеплением климата произойдет смещение границ зон различных типов лесов. Хотя, согласно прогнозам, количество осадков возрастет, в некоторых районах этого увеличения будет недостаточно для компенсации возросшего испарения, сопровождающего рост температуры. Таким образом, некоторые районы станут слишком сухими для поддержания сплошного полога северных лесов, и, по прогнозам, преобразуются в более открытую форму осинового леса, иногда называемого "лесопарком". Эти районы показаны на карте красным цветом, их распределение получено на основе модельного сценария удвоения концентрации углекислого газа по сравнению с доиндустриальным периодом, что может произойти уже к середине этого столетия.

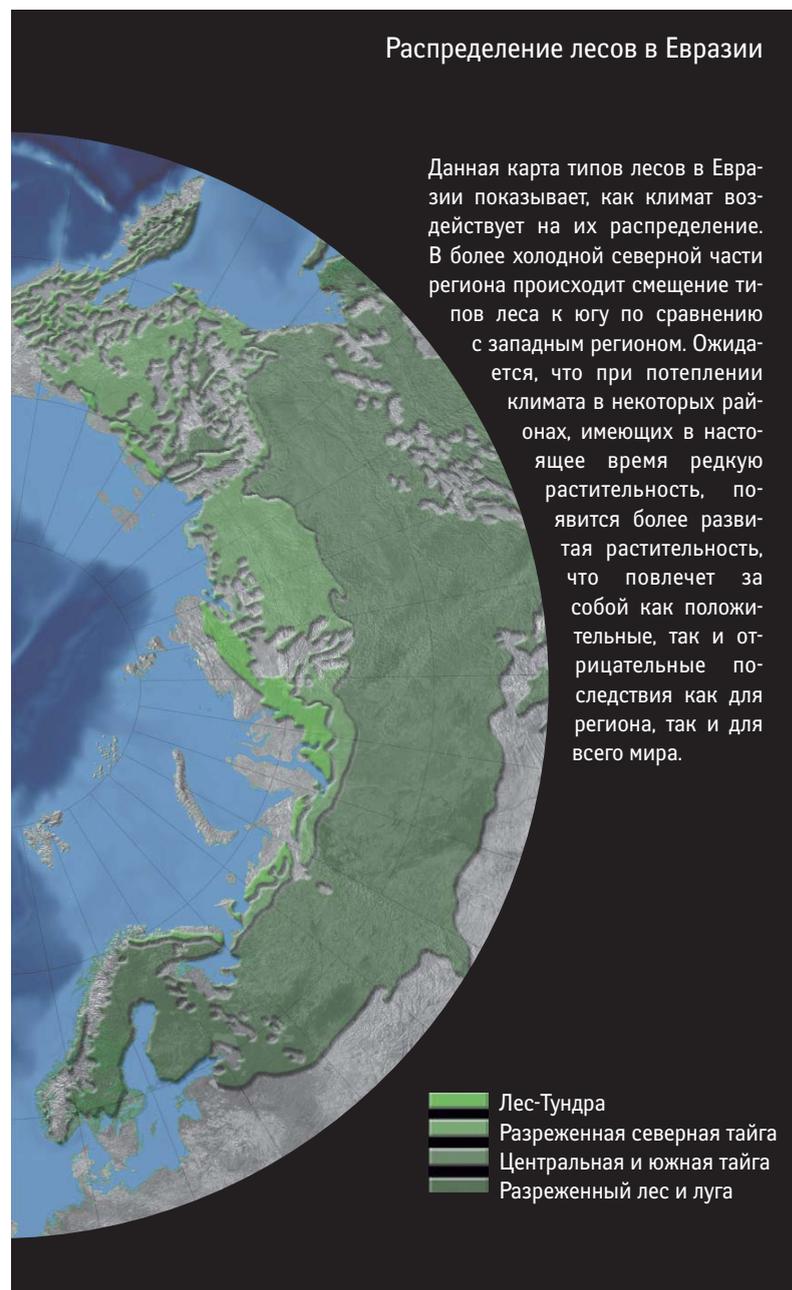
- Возможное положение осинового лесопарка в будущем
- Лес-Тундра
- Лишайниковые леса
- Сплошной полог леса



Распределение лесов в Евразии

Данная карта типов лесов в Евразии показывает, как климат воздействует на их распределение. В более холодной северной части региона происходит смещение типов леса к югу по сравнению с западным регионом. Ожидается, что при потеплении климата в некоторых районах, имеющих в настоящее время редкую растительность, появится более развитая растительность, что повлечет за собой как положительные, так и отрицательные последствия как для региона, так и для всего мира.

- Лес-Тундра
- Разреженная северная тайга
- Центральная и южная тайга
- Разреженный лес и луга



3 Зоны растительности в Арктике, очень вероятно, сместятся,



Отклик сибирских лесов на изменение климата

Выполняемое в Сибири исследование лесов, простирающихся от степей Центральной Азии на юге до границы лесной зоны на севере, позволяет установить некоторые механизмы, посредством которых климат контролирует рост доминирующих видов деревьев, в данном случае, шотландской сосны и сибирской лиственницы. В южной части этого региона засуха является главным фактором, ограничивающим рост деревьев; холодные влажные сезоны обеспечивают наибольший рост. Далее к северу, в южных и умеренных районах зоны бореальных лесов, более теплые погодные условия летом замедляют рост, тогда как удлинение сезона роста (более раннее начало весной и более поздний конец сезона осенью) соответствует процессу усиления роста. В северных районах зоны бореального леса и на ее северной границе теплые погодные условия летом являются основным фактором, способствующим росту деревьев.

Изменение климата может порождать два различных вида откликов в бореальном лесу. Если ограничивающие для окружающей среды факторы останутся аналогичными тем, которые были в недавнем прошлом, то будет наблюдаться простое линейное изменение, когда данный тип лесов заменяется его соседом с юга. Однако, иногда экосистемы демонстрируют небольшое изменение до тех пор, пока они не вступят в конфронтацию с изменениями окружающей среды, превосходящими критические пороги, чувствительностью к которым обладают эти экосистемы. В этом случае изменение климата приводит к образованию новых видов экосистем, которые отсутствуют в современном ландшафте. Реконструкции экосистем далекого прошлого для периодов изменений климата, таких, как последний ледниковый период, показывают возможность таких нелинейных вариантов изменений. Возможные нелинейные изменения могут включать отступление в некоторых районах границы лесной зоны к югу. В других районах леса могут исчезнуть или стать столь редкими, что тундра напрямую будет граничить со степью или саванной, а не с бореальным лесом, как в настоящее время.

Иногда экосистемы демонстрируют небольшое изменение до тех пор, пока они не вступят в конфронтацию с изменениями окружающей среды, превосходящими критические пороги, чувствительностью к которым обладают эти экосистемы.

Сибирская лиственница и температура теплого сезона

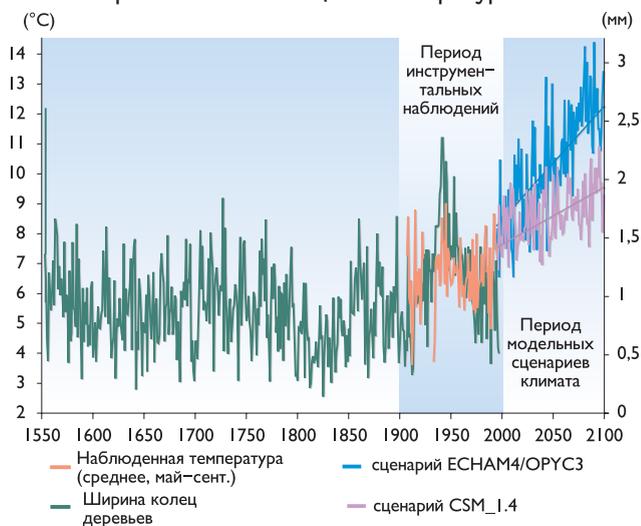


График показывает соотношение между ростом сибирской лиственницы и температурой теплого сезона в прошлом и в будущем (для двух сценариев потепления) на полуострове Таймыр, Россия. Эти деревья имеют положительный отклик на увеличение температуры. Более теплый из двух сценариев (ECHAM4/OPYC3) показывает примерно удвоенную скорость роста, что приведет к преобразованию этого окраинного района в зону продуктивного леса ("точка наблюдения" в действительности является средней для четырех климатических станций на полуострове Таймыр). Сценарий модели CSM_1.4 исключает периоды, когда рост строго ограничивается температурой.

Отклик белой ели на потепление

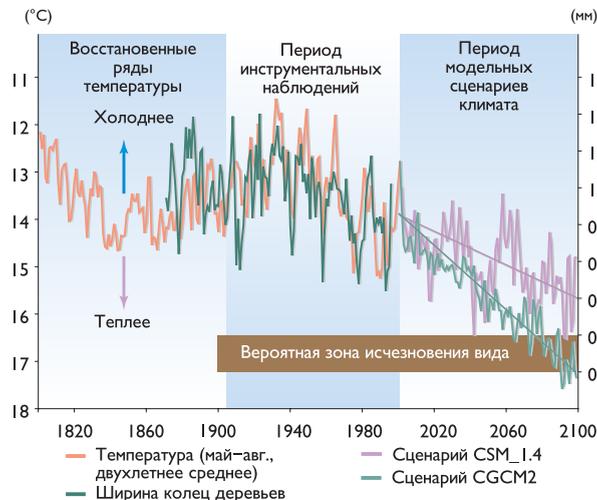


График показывает историческую и прогнозируемую связь между ростом белой ели и летней температурой в Центральной Аляске в прошлом и в будущем. Критический порог температуры был перейден в 1950 году, после чего рост стал замедляться. Прогноз, полученный по Канадской климатической модели (CGCM2), предполагает, что данный вид, вероятно, исчезнет в этом регионе к концу текущего столетия.



Температурный порог для белой ели

Белая ель — наиболее широко распространенное хвойное дерево бореального леса (вечнозеленое, с шишками) и наиболее ценный вид для лесной промышленности среди других видов бореального леса Северной Америки. Она также составляет наибольшую часть медленно растущего леса вблизи границы тундры. В сухой центральной части Аляски и западной Канады высокие летние температуры замедляют рост белой ели вследствие засухи. Напротив, во влажных прибрежных и невысоких горных районах рост белой ели увеличивается с высокими летними температурами. Было исследовано 1500 деревьев белой ели на границе лесной зоны на Аляске и Брукс Рэнджес как в сухих, так и во влажных районах, и было обнаружено, что 42% деревьев растут медленнее при более высоких летних температурах (деревья с отрицательным откликом), тогда как 38% вырастают сильнее (деревья с положительным откликом).

Самое важное, что это исследование выявило определенный температурный порог, выше которого рост елей с отрицательным откликом резко замедляется. Когда температура в июле на ближайшей станции поднималась выше 16°C, рост елей с отрицательным откликом замедлялся прямо пропорционально потеплению. До 1950 года только несколько раз температуры в июле поднимались выше пороговых значений, так что отрицательный отклик был слабым. Но с 1950 года было много теплых июлей, так что отрицательный отклик был значительно сильнее. Экстраполяция наблюдаемой зависимости в будущее показывает, что рост июльской температуры на 4°C обусловит остановку роста, приводя к исчезновению этих деревьев на границе лесной зоны. (У елей с положительным откликом на большей части станций, расположенных на границе лесной зоны, положительный отклик на потепление в конце 20-го века стал слабее, хотя на Аляске их рост с потеплением увеличился.)

Особое пороговое значение температуры также запускает механизм повышения урожайности шишек белой ели, который предназначен стимулировать появление большего количества семян, только если условия являются оптимальными для их прорастания — обычно такие условия появляются после пожаров. Изменение климата привело к смене сроков возникновения лесных пожаров и к изменению урожайности шишек таким образом, что эти два явления больше не имеют тесной связи. Это может снизить эффективность воспроизводства белой ели.

Черная ель, рост температуры и тающая вечная мерзлота

Черная ель — доминирующее дерево на примерно 55% площади бореального леса Аляски. Этот вид является ключевым, так как сильное поглощение этим видом энергии солнца приводит к увеличению потепления, а также вследствие его роли как легко воспламеняющегося дерева, распространяющего пожар по лесному массиву. Если черная ель станет важной частью бореального леса, который, в результате изменения климата, распространится в тундру, то там, где сейчас доминирует этот вид, он столкнется с угрозой вымирания. Во внутренних, более сухих районах вечной мерзлоты на Аляске, рост черной ели уменьшается с увеличением летней температуры. При реализации варианта максимального потепления (из прогнозируемых на этот век сценариев роста температуры) выживание в таких районах будет крайне маловероятным из-за засух. В других районах на черную ель оказывают отрицательное влияние высокие температуры ранней весны, так как процессы фотосинтеза (и, следовательно, необходимость в воде) начинаются, когда поверхность еще не оттаяла, что приводит к повреждениям из-за высыхания иголок. Наконец, в тех районах с вечной мерзлотой, где потепление исторически способствовало росту черной ели, деревья находятся в опасности из-за проседания поверхности земли вследствие оттаивания.



В настоящее время часто превышает критический порог, равный 16°C, что сильно снижает рост популяции белой ели. Экстраполяция наблюдаемой зависимости в будущее показывает, что повышение июльской температуры на 4°C обусловит остановку роста, приводя к исчезновению этих деревьев на границе лесной зоны.

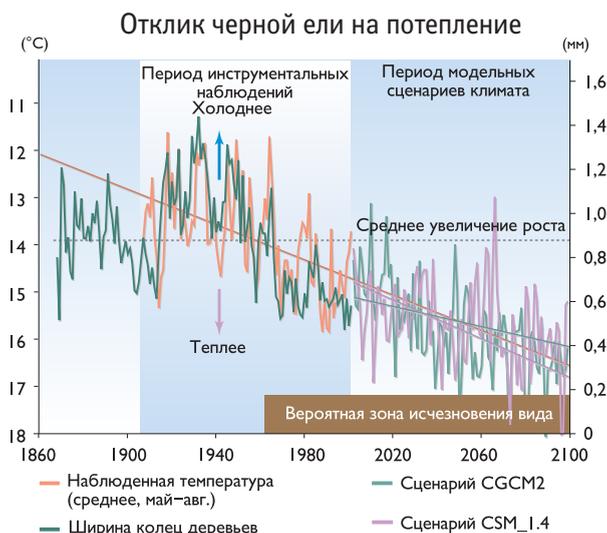
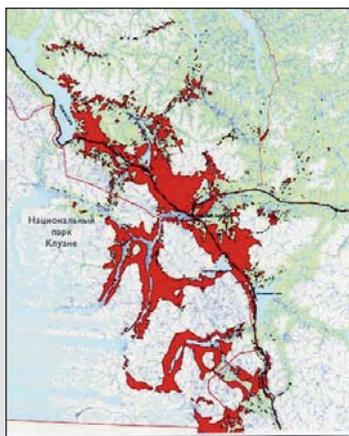


График показывает соотношение между летними температурами и относительным ростом черной ели в Фэрбанксе, Аляска, полученное из наблюдений и для двух сценариев будущего потепления. Средняя летняя температура представляет собой отличный индикатор, предсказывающий рост черной ели, который показывает сильное снижение роста в теплые годы. К 2100 году температура, предсказываемая обоими сценариями, не даст черной ели возможности выжить.



Еловый жук-короед

Нашествия еловых жуков-короедов на Юконе в 1994-2002 гг.



Распространение елового жука-короеда в 1994-2000 гг.

Нашествия насекомых

Увеличение повреждения леса вследствие нашествий насекомых является практически неизбежным результатом потепления климата. Растущие проблемы с еловыми жуками-короедами и еловой листовёрткой-почкоедом в Североамериканской Арктике являются двумя типичными примерами. Большие территории леса, подвергающегося изменениям, создают новые возможности для вторжения и обоснования здесь видов из зон с более теплым климатом и/или чужеродных видов.

Еловый жук-короед

Связь елового жука-короеда с климатом включает три фактора; два из них являются прямыми факторами, контролирующими популяцию насекомых, и один — непрямым, контролирующим сопротивляемость деревьев. Во-первых, две достаточно холодных зимы подряд снижают степень выживания жука-короеда до достаточно низкого уровня, такого, что остается лишь небольшая возможность вспышки численности на следующее лето. Однако, в течение десятилетий в Североамериканской Арктике зимы были необычно теплыми, так что на протяжении длительного периода времени не выполнялись условия обеспечения контроля численности. Во-вторых, обычно жуку-короеду требуется два года для завершения жизненного цикла, но при необычно теплых летних условиях он может завершить жизненный цикл за 1 год, что катастрофически увеличивает популяцию и соответствующий урон. Этот процесс наблюдается в последнее время на Аляске и в Канаде.

Еловые жуки-короеды погубили деревья на 300 000 гектарах в ущелье реки Алсек в Национальном парке Клуан и в долине Шакуак к северу от Хайнес Джанкшн за период с 1994 года, когда впервые была выявлена вспышка численности насекомых. Это самое большое и интенсивное нашествие еловых жуков-короедов, когда-либо оказывавшее воздействие на деревья Канады. Также это самое северное нашествие, когда-либо имевшее место в Канаде. Нашествие 2002 года было особо интенсивным, так как наблюдения с воздуха зафиксировали увеличение площади зараженных территорий на целых 300%, также как и значительный рост ущерба.

Вспышки численности елового жука-короеда. Южная часть полуострова Кенай

Температура периода с мая по август



Среднегодовая температура



Индекс засушливости

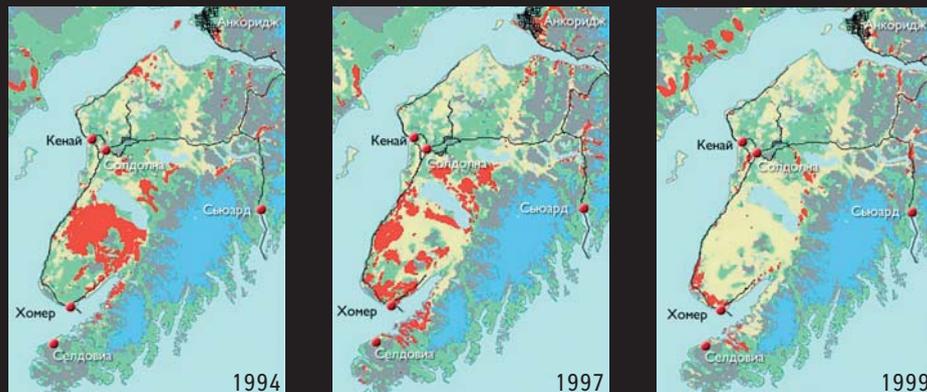


Смертность деревьев



Гибель деревьев на значительной площади из-за повреждения еловым жуком-короедом

Активность елового жука-короеда на полуострове Кенай в 1994-1999 гг.



В 1990-х гг. полуостров Кенай на Аляске испытал самое значительное в мире нашествие елового жука-короеда. С 1989 года на территории более чем в 1,6 миллионов гектаров взрослого леса белой ели и ели Ситки/Лутца в южной и центральной части Аляски наблюдалась смертность деревьев, по крайней мере порядка 10-20%, что является пороговым уровнем для обнаружения с воздуха.

- Смертность деревьев вследствие воздействия жуков-короедов
- Смертность деревьев вследствие воздействия жуков-короедов в прошлом
- Лесные районы
- Районы, свободные от леса
- Ледники

ЧТО ВЫЗОВЕТ ШИРОКИЙ ДИАПАЗОН ВОЗДЕЙСТВИЙ

Помимо этого, здоровые ели могут успешно сопротивляться умеренному числу нападений жуков, используя свою смолу и под высоким давлением выталкивая ее навстречу самкам жуков, пытающихся проникнуть внутрь ствола дерева, чтобы отложить яйца. Обычно жуки не способны преодолеть поток смолы. Однако, у стволов деревьев, испытывающих стресс вследствие жары и засухи, снижен потенциал роста, что приводит к уменьшению количества и более низкому напору смолы, и тем самым снижается способность деревьев сопротивляться атакам жуков. Когда целые популяции деревьев находятся в стрессовых условиях вследствие региональных возмущений климата, таких, какие в последнее время часто наблюдаются на Аляске и в некоторых районах Канады, то создаются исключительно благоприятные условия для еловых жуков-короедов и наблюдаются повреждения и потери деревьев на значительных территориях.

Еловая листовертка-почкоед

Критическим фактором, определяющим распространение листовертки-почкоеда, является погода. Неожиданные всплески численности листовертки-почкоеда обычно следуют за засухами, и видимые эффекты после этих нашествий появляются после жарких засушливых летних периодов. Засуха угнетает деревья, снижая их сопротивляемость, а повышенные летние температуры увеличивают репродуктивные способности листовертки-почкоеда. Например, самки листовертки-почкоеда откладывают на 50% больше яиц при температуре 25°C, чем при 15°C. Также, высокие температуры и засуха могут сдвинуть сроки репродукции листовертки-почкоеда таким образом, что ее природные враги больше не будут ограничивать ее численность. Напротив, холодная погода может остановить нашествия листовертки-почкоеда. Листовертка-почкоед вымрет от голода, если поздний весенний заморозок уничтожит новые побеги деревьев, на которых кормятся личинки.

Таким образом, следует ожидать, что потепление климата приведет к продвижению листовертки-почкоеда на север, и это уже наблюдается. До 1990 года не были замечены случаи рождения листовертки-почкоеда в бореальном лесу центральной Аляски. Затем, в 1990 году, после ряда теплых летних сезонов наблюдался неожиданный и сильный всплеск численности листовертки-почкоеда и, как следствие, видимые повреждения лесного покрова на протяжении нескольких десятков тысяч гектаров лесных массивов белой ели. Популяции еловой листовертки-почкоеда с тех пор обосновались в этом районе вблизи Полярного круга. Целый район лесных массивов белой ели в Северной Америке рассматривается, как уязвимый к нашествиям еловой листовертки-почкоеда при прогнозируемом изменении климата. Например, на Северо-Западных территориях Канады северная граница современных нашествий еловой листовертки-почкоеда находится примерно в 400 км к югу от северной границы белой ели, на которой она кормится. Поэтому сложились все условия для освоения ею оставшейся зоны шириной 400 км с еще не тронутым массивом белой ели.



Еловая листовертка-почкоед

Целый район лесных массивов белой ели в Северной Америке станет уязвимым к нашествиям еловой листовертки-почкоеда при прогнозируемом изменении климата.



Нашествие еловой листовертки-почкоеда в Канаде

3 Зоны растительности в Арктике, очень вероятно, сместятся,



Около четырех миллионов гектаров бореального леса сгорало ежегодно в России на протяжении последних трех десятилетий, и эта цифра более чем удвоилась в 1990-х годах.

Лесные пожары

Пожар является еще одним фактором, наносящим повреждение бореальному лесу с длительным экологическим воздействием. Площадь пожаров в западной части Северной Америки возросла вдвое за последние тридцать лет, и в условиях ожидаемого потепления климата она увеличится на 80% за следующие 100 лет. Моделирование лесных пожаров в Сибири показывает, что скачок летней температуры 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%.

Пожары в лесах Евразии

Площадь бореального леса, ежегодно сгоравшего в России на протяжении последних трех десятилетий составляла, в среднем, четыре миллиона гектаров, причем она более чем удвоилась в 1990-х годах. Так как климат продолжает теплеть, сезон лесных пожаров будет начинаться раньше и продолжаться дольше. Прогнозируемое изменение климата может вызвать расширение области с типами погоды, создающими условия экстремальной пожароопасности. В таких условиях, при наличии возгорания, площадь распространения пожара в бореальных лесах Евразии сильно возрастет. Также ожидается, что пожары будут происходить чаще и с большей интенсивностью во всех экосистемах, включая заболоченные леса и торфяные болота, которые содержат огромные количества углеродосодержащего лесного материала, такого как мох, древесина и листва. Согласно прогнозам, ежегодно будет сгорать около одного миллиарда тонн этого органического материала, увеличивая эмиссию углерода в атмосферу. Однако, согласно некоторым сценариям, пожары, возможно, будут происходить чаще в одних регионах и реже в других, сильно затрагивая отдельные территории, но в целом, общее число пожаров изменится незначительно.

Северный лес, сгоревший в Северной Америке

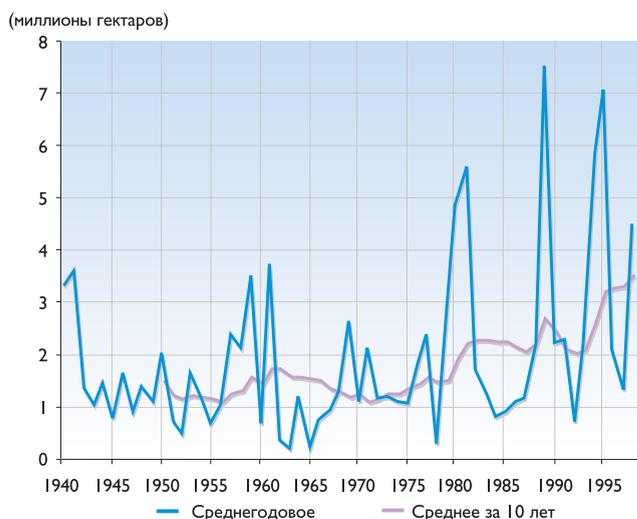
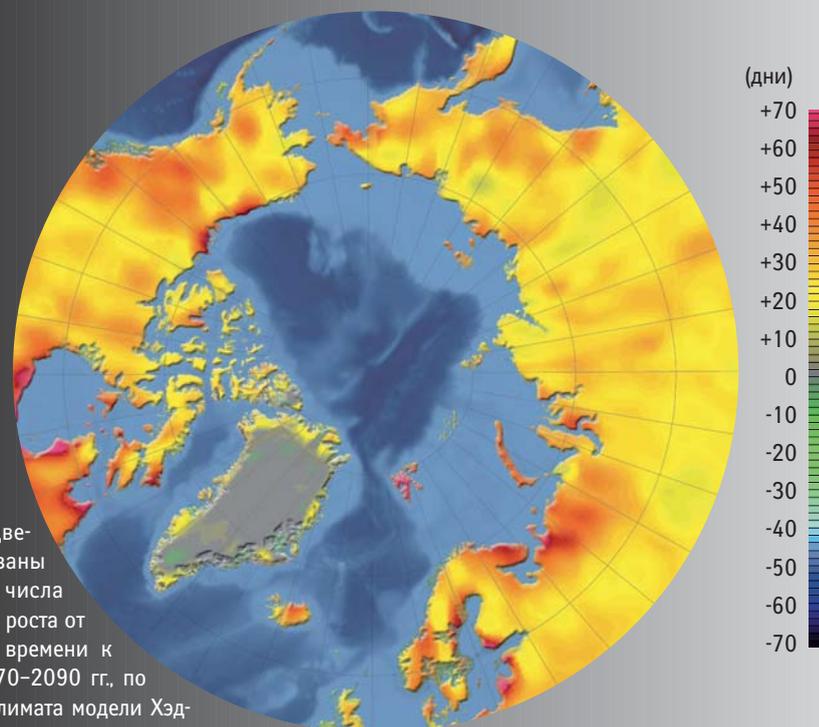


График показывает площадь североамериканского бореального леса, сгоравшего ежегодно, в миллионах гектаров. Средняя площадь сгорающего за год леса увеличилась более чем в два раза с 1970 г., что совпадает с потеплением климата в регионе.

Прогнозируемое изменение продолжительности сезона роста к 2070–2090 гг. Минимальная температура выше 0°C



Разными цветами показаны изменения числа дней сезона роста от настоящего времени к периоду 2070–2090 гг., по сценарию климата модели Хэдли3. Среднее значение результатов трех климатических моделей дает увеличение длительности сезона роста на величину около 20–30 дней для районов, расположенных севернее 60° с.ш. Сезон роста определяется как число последовательных дней с минимальной температурой выше 0°.



Возможности для ведения сельского хозяйства, вероятно, возрастут

Сельское хозяйство Арктики вносит относительно малый вклад в мировую экономику, хотя некоторые страны, такие, как Исландия, производят мяса и молочных продуктов в количестве, превосходящем потребности своего населения. Сельское хозяйство на севере, главным образом, состоит из морозоустойчивых фуражных и овощных культур, некоторых зерновых культур, выращивания крупного рогатого скота, овец, коз, свиней, индеек и разведения северных оленей. Хотя развитие сельского хозяйства сдерживается климатическими условиями Арктики, особенно в холодных районах, оно также ограничено плохо развитой инфраструктурой, малой численностью населения, удаленностью от рынков и спорами из-за земельных владений. Климатическими условиями, сдерживающими развитие сельского хозяйства, являются короткий сезон роста (недостаточный период для полного созревания урожая или для производства высоких урожаев способных созреть культур), недостаточное количество тепловой энергии (недостаточно теплые дни в течение сезона роста), длинные холодные зимы, которые могут ограничить выживаемость многих многолетних культур, и режимы переувлажнения в некоторых районах.

Согласно прогнозу, изменение климата в этом столетии увеличит возможности для коммерческого выращивания культур в более северных районах, с распространением некоторых культур, выращиваемых сейчас в более теплых районах бореального региона, на север до Полярного круга. Средняя годовая урожайность, вероятно, возрастет, так как климат станет более подходящим для высокоурожайных культур, а вероятность низких температур, ограничивающих рост, снизится. Однако, в более теплых районах потепление в сезон роста может вызвать небольшое снижение урожайности, так как более высокие температуры ускоряют развитие, сокращая время для накопления в растениях сухого вещества. Более длинные и теплые сезоны роста, как ожидается, увеличат возможное количество зерен и, тем самым, сезонную урожайность многолетних фуражных культур.

Неопределенность прогноза зимних условий затрудняет оценку потенциала выживаемости культур. Более теплые зимы могут значительно снизить выживаемость некоторых многолетних культур, если число случаев, когда за оттепелями следуют заморозки, возрастет. Скорее всего, это будет иметь место для районов с небольшим количеством снежных осадков. Однако, более длинные сезоны роста растений, особенно осенью, вызовут распространение на север условий, благоприятных для произрастания таких культур, как люцерна и ячмень.

Дефицит воды, вероятно, возрастет в следующем столетии на большей части бореального региона, так как маловероятно, что увеличение количества осадков в теплые сезоны будет компенсировать потери воды вследствие возрастания испарения из-за более высокой температуры. Если не будет применяться ирригация, то нехватка воды, вероятно, отрицательно повлияет на урожайность культур. Ограничение водных ресурсов, вероятно, станет более важным фактором, чем ограничения, связанные с температурой, для многих культур на большей части региона. Территории, где дефицит воды маловероятен, включают в себя районы восточной Канады, западной Скандинавии, Исландию и Фарерские острова, которые находятся в условиях морского климата.

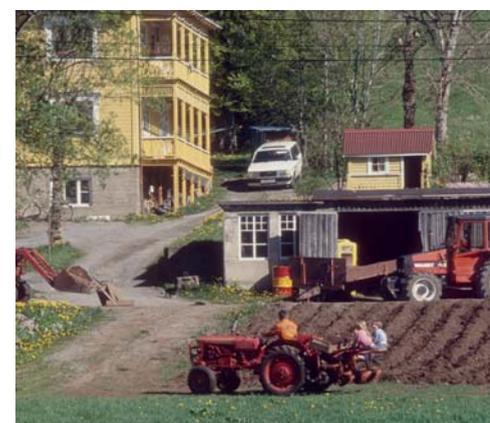
Вероятно, с потеплением климата во всей Арктике увеличится количество сорняков, насекомых-вредителей и инфекционных болезней. Однако маловероятно, что эти проблемы в большинстве случаев значительно повлияют на увеличение урожайности или возможности разведения новых культур. Но все же сильные нашествия насекомых могут иметь весьма негативный эффект. Например, исследования показывают, что потепление климата в Финляндии приведет к возрастанию случаев заболевания картофеля до такой степени, что это значительно снизит урожай картофеля в этой стране.

Плохо развитая инфраструктура, малочисленное население (ограниченные местные рынки) и большие расстояния до крупных рынков, вероятно, будут оставаться основными факторами, ограничивающими развитие на большей территории Арктики в этом столетии.



Согласно прогнозу, потепление климата увеличит возможности для коммерческого выращивания культур в более северных районах уже в этом столетии.

Ключевой вывод №3





Маловероятно, что белые медведи выживут как вид, если летом морской лед будет почти полностью исчезать.



Арктика является местом обитания для различных видов животных, почитаемых во всем мире за их силу, красоту и способность к выживанию в суровых северных условиях. Животные, включая северного оленя, белых медведей и многие виды рыб и тюленей, являются также существенной частью экономики, рациона питания и культуры для арктических народов. Изменение климата окажет воздействие на арктические виды, затрагивая их приспособляемость, что повлияет на тех, кто использует живые ресурсы на суше и в море.

Морская среда обитания

Более половины территории Арктики занимает океан. Многие формы жизни в Арктике зависят от биопродуктивности моря, которая в высокой степени определяется климатическими условиями. Изменения климата оказывают значительное влияние на морских животных. Например, обусловленное климатом сокращение популяции мойвы в Баренцевом море в 1987 году привело к губельным последствиям для морских птиц, имеющих там районы размножения. Другой пример: за годами с небольшим количеством или отсутствием льда в проливе Святого Лаврентия в Канаде (1967, 1981, 2000, 2001, 2002 гг.), следовали годы, когда детеныши тюленей фактически не выживали, хотя в другие годы их численность достигала сотен тысяч.

Белые медведи

Белые медведи зависят от морского льда, когда охотятся на тюленей; кроме того, они используют ледяные поля для перемещения из одних районов в другие. Беременные медведицы устраивают на зиму берлоги в районах с глубоким снежным покровом на суше или на морском льду. Когда весной медведицы выходят из своих берлог с медвежатами, продолжительность их голодания достигает пять-семь месяцев. Успех охоты на морских животных, зависящий от хороших ледовых условий весной, является необходимым условием для выживания семей. Изменения сплоченности льда и его прочности имеют, таким образом, критическое значение. Наблюдаемые и прогнозируемые сокращения морского льда, очень вероятно, вызовут губельные последствия для белого медведя.

Ожидается, что наиболее рано воздействия потепления проявятся на южных границах района обитания медведей, например, в заливах Джеймса и Гудзоновом. В последние годы такие воздействия уже отмечены. Положение взрослых белых медведей в районе Гудзонова залива за последние два десятилетия ухудшилось, сократилось число рожденных живыми детенышей и доля детенышей-годовичков в популяции. У белых медведей этого региона как средний вес, так и число детенышей, рожденных между 1981 и 1998 гг. снизились на 15%. Более позднее образование льда осенью и более раннее вскрытие весной приводит к более длительному периоду голодания самок белых медведей, а их репродуктивность тесно связана с их жировыми запасами. Медведицы в неблагоприятных условиях имеют меньшее количество медвежат, к тому же медвежата рождаются более мелкими, что дает им меньше шансов на выживание. Изменение климата также, вероятно, напрямую вызовет рост смертности белого медведя. Например, увеличение частоты и интенсивности весенних дождей уже привело к разрушению некоторых берлог, вызвав смерть самок и медвежат. Более раннее вскрытие льда весной может отделить места расположения берлог от районов весеннего прокорма, а маленькие медвежата не могут проплывать большие расстояния, разделяющие берлоги и места прокорма.

Маловероятно, что белые медведи выживут как вид, если летом морской лед будет почти полностью исчезать, что, согласно расчетам по некоторым климатическим моделям, может произойти уже в этом столетии. Единственная возможность выживания белых медведей — это адаптация к жизни летом на материке, но конкуренция, опасность скрещивания с бурыми медведями и медведями гризли, а также возрастающее число контактов с человеком могут стать дополнительной угрозой их выживанию как виду. Сокращение численности белых медведей, вероятно, будет иметь значительные и быстрые последствия для связанных с ними экосистем.

Морские животные, чья жизнь связана со льдом

Зависящие ото льда морские животные, включая кольчатую нерпу, полосатого тюленя и морского зайца, особо уязвимы к наблюдаемым и прогнозируемым сокращениям морского льда, так как на льду они производят на свет и выкармливают своих детенышей, лед же служит им местом для отдыха. Кроме того, они кормятся вблизи кромки льда и подо льдом. Наиболее сильно, вероятно, будут затронуты кольчатые нерпы, так как все стороны их жизни связаны со льдом. Им требуется снежный покров достаточной толщины для устройства лежбищ, лед должен быть достаточно прочным весной для успешного воспитания молодого поколения. Раннее вскрытие ледового покрова может вызвать преждевременное разделение матерей и детенышей, приводя к росту смертности последних.

Адаптация к жизни на материке в условиях отсутствия морского льда летом в высшей степени маловероятна для кольчатой нерпы, так как животные этого вида редко выбирают на сушу, если вообще это делают. Необходимость выхода на сушу для отдыха приведет к драматическим изменениям поведения вида. Рожденные на материке детеныши будут подвержены гораздо более высокому риску нападения со стороны хищников. Другими морскими животными, которые, вероятно, пострадают вследствие сокращения морского льда, являются пятнистые тюлени, размножающиеся исключительно на ледовой кромке Берингова моря в весенний период, а также гренландские тюлени, чья жизнь связана с морским льдом круглый год. В отличие от этих животных, связанных со льдом, обыкновенные тюлени и серые тюлени представляют собой менее требовательные виды с достаточно широкой нишей обитания, так что, вероятно, их зоны обитания в Арктике с уменьшением площади льда расширятся.

Морские птицы

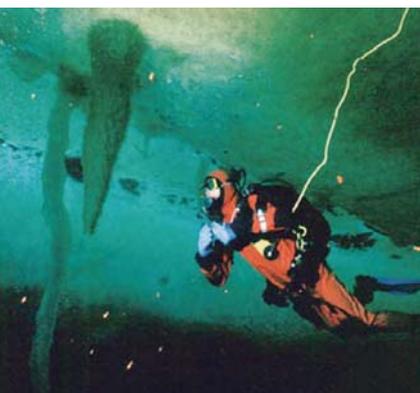
Для некоторых видов морских птиц, таких как белая чайка и малая гагарка, сокращение площади морского льда и обусловленные этим процессом изменения в соответствующих сообществах, очень вероятно, приведут к негативным воздействиям. Большая часть жизни белой чайки тесно связана с морским льдом: эти птицы гнездятся и кормятся на скалах, предоставляющих им защиту от хищников, и оттуда летают к ближайшей кромке морского льда, где ловят рыбу через трещины во льду и подбирают падаль. Отступление кромки морского льда все дальше от мест гнездования на берегу, очень вероятно, приведет к серьезным последствиям. Значительное сокращение численности белой чайки уже наблюдается, в частности, уменьшение на 90% популяции этого вида в Канаде за последние 20 лет.

Моржи и кромка льда

Море у кромки льда является исключительно биопродуктивной областью и обладает высокой чувствительностью к изменению климата. Наиболее богаты жизнью районы вблизи берегов вдоль континентальных шельфов. Поскольку морской лед отступает от берегов, морская система может потерять некоторые из наиболее продуктивных районов. Для моржей во многих районах кромка льда является идеальным местом для отдыха и питания, поскольку моржи кормятся у дна рачками и другими ракообразными, обитающими на континентальном шельфе. Когда кромка льда отодвинется от шельфа в более глубоководные районы, рачков рядом с ней уже не будет. Кроме того, моржи обычно совершают путешествия на большие расстояния на дрейфующем льду, что позволяет им кормиться на более обширной площади.



4 Разнообразие видов животных, границы зон обитания



Отбор аквалангистом образцов ледовых водорослей на мысе Эванс. Подводная поверхность морского льда окрашена водорослями в коричневый цвет. Каналы с морской водой во льду, образующиеся при таянии льда, формируют остроконечные, свисающие вниз наросты льда, интенсивно обживаемые ледовыми водорослями.

Исследования, проведенные в море Бофорта, показывают, что водоросли, находящиеся в основе морской пищевой цепи, возможно, уже в значительной степени затронуты потеплением, происходящим в последние несколько десятилетий.

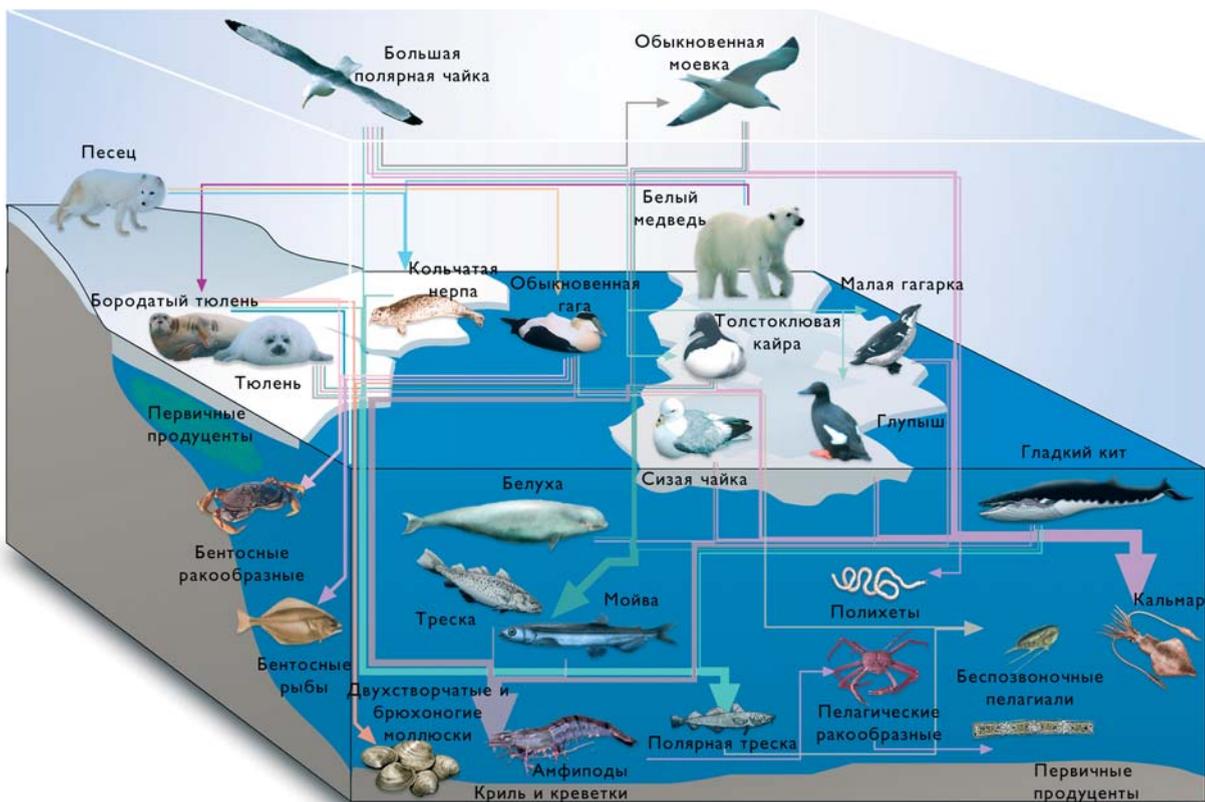
Морские водоросли и соответствующая пищевая цепь

Обширное сокращение многолетнего льда в Северном Ледовитом океане, вероятно, окажет сильное негативное воздействие на микроскопические формы жизни, связанные со льдом, так как у них станут сокращаться постоянные места обитания. Исследования, проведенные в море Бофорта, показывают, что водоросли, находящиеся в основе морской пищевой цепи, возможно, уже в значительной степени затронуты потеплением, происходящим в последние несколько десятилетий. Наибольшая часть крупных морских водорослей подо льдом в этом районе погибла между 1970-ми и концом 1990-х годов. Они были заменены менее продуктивным видом водорослей, обычно обитающим в пресной воде. Исследователи говорят, что этот факт, вероятно, связан с тем, что таяние сформировало 30-метровый слой относительно пресной воды под оставшимся льдом, на одну треть более глубокий, чем это было 20 лет назад. Среди районов, которые, вероятно, будут затронуты такими изменениями наиболее серьезно, окажутся Берингово море и Гудзонов залив, южные районы Арктики, где морской лед уже исчезает весной раньше и формируется осенью позже. Так как потепление в Арктике продолжается, в районах континентального шельфа морской лед будет весной таять быстрее и будет отодвигаться в глубоководные районы центральной Арктики.

Другие угрозы морским видам, связанные с климатом

Кроме проблем потери мест обитания и кормовой базы, изменение климата создает дополнительные угрозы для арктических морских млекопитающих и некоторых видов морских птиц. Это риск возникновения болезней из-за потепления климата, рост воздействий загрязнения вследствие того, что увеличение количества осадков приводит к более интенсивному переносу на север атмосферных и речных загрязнений, возрастание конкуренции видов при распространении на север видов умеренной зоны, а также увеличение антропогенных воздействий вследствие интенсификации перевозок и человеческой деятельности в прежде недоступных покрытых льдом районах.

Морская пищевая цепь Арктики



Будущее коренных народов	Морские экосистемы	Охота, оленеводство и рыболовство	Климат и многочисленные нагрузки
3	9	12	17

Совместное воздействие химических веществ и изменений климата на белых медведей

Растущие нагрузки на белых медведей, обусловленные изменением климата, взаимодействуют с нагрузками, создаваемыми химическими загрязняющими веществами. У белых медведей, находящихся на вершине морской пищевой цепи, загрязняющие вещества накапливаются в слое жира при употреблении в пищу кольчатой нерпы и других морских млекопитающих, которые, в свою очередь, абсорбируют химические вещества, поедая носителей вредных веществ, стоящих ниже в пищевой цепи. В организме белых медведей выявлены высокие уровни хлорных компонент и тяжелых металлов. В некоторых случаях загрязнители могут накапливаться в жире, не влияя на здоровье медведей, пока запасы жира велики. Но во время голодного сезона, когда запасы жира расходуются, химические компоненты высвобождаются в организм. Наблюдения показывают, что запасы жира у белых медведей в некоторых районах Арктики в последние десятилетия стали меньше, так как все более и более раннее вскрытие морского льда заставляет их выбираться на берег, где они вынуждены оставаться все более длительное время.

Изменения климата и изменения в социальной сфере оказывают совместное воздействие на охотников на морского зверя

Многие арктические человеческие сообщества зависят от охоты на белых медведей, моржей, тюленей, китов, морских птиц и других морских животных. Изменения районов обитания и доступности видов, снижение безопасности перемещений в условиях изменяющихся и непредсказуемых ледовых условий, заставляют людей чувствовать себя чужаками на их собственной земле. Некоторые изменения, происходящие в обществе, повысили уязвимость к изменениям климата. Например, в последние десятилетия многие охотники инуиты пересели с собачьих упряжек на снегоходы, причем, если собаки могли чувствовать опасный лед, то снегоходы не могут. С другой стороны, снегоходы дают возможность людям охотиться на более обширных территориях и перевозить большее количество грузов. Кроме того, люди больше не кочуют, следуя за сезонными перемещениями животных. Они живут в постоянных поселках и их возможность адаптации к изменениям климата и/или к доступу к животным посредством перемещений в значительной мере снизилась.





Ожидаемые изменения, вероятно, окажут положительное воздействие на отдельные виды, например, треску и, вероятно, отрицательно повлияют на другие, например, северную креветку, что неизбежно вызовет изменения в рыбной промышленности.

Морские рыбные промыслы

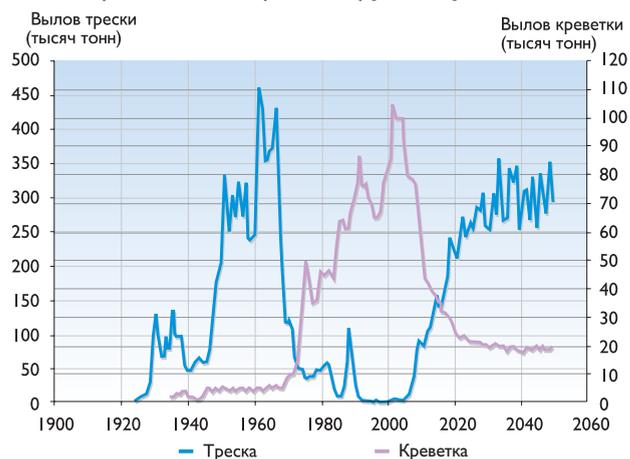
Морские рыбные промыслы являются важным источником пищи в глобальном масштабе и жизненно важной частью экономики региона. Поскольку они в значительной степени контролируются такими факторами, как местные погодные условия, динамика экосистем и управленческие решения, то возможность оценки воздействий изменения климата на морские рыбные запасы является проблематичной. Есть вероятность, что изменение климата вызовет значительные сдвиги в экосистемах некоторых районов, которые приведут к радикальным изменениям в видовом составе, причем с неизвестными последствиями. Помимо таких сдвигов, умеренное потепление, вероятно, создаст более благоприятные условия для некоторых важных промысловых рыб, таких как треска и сельдь, так как более высокие температуры и сокращение ледового покрова, возможно, приведут к росту продуктивности их кормовой базы и к расширению зоны их обитания.

Гренландская треска и климат

Ярким примером положительного воздействия изменения климата является западно-гренландская треска. В очень холодных условиях между 1900 и 1920 годами около Гренландии трески было мало. В 1922 и 1924 годах в водах Исландии произошел обильный нерест трески, после чего она переместилась от Исландии к берегам Восточной Гренландии, затем в воды Западной Гренландии, где этот вид стал процветать, положив начало значительному рыболовному промыслу с середины и до конца 1920-х годов. Большое количество этой трески вернулось в Исландию на нерест в начале 1930-х годов и осталось там. Однако, много рыбы осталось вблизи Западной Гренландии и продолжило там нереститься, положив начало независимому самовозобновляющемуся поголовью трески. В течение теплого периода, который пришелся на середину 20-го века, запасы гренландской трески очень сильно выросли, обеспечивая среднегодовой улов около 315 000 тонн между 1951 и 1970 годами. Холодные условия, которые преобладали с 1965 года, привели к неспособности трески к воспроизводству в водах Гренландии. Наиболее значительные уловы в этот период обеспечивались рыбой, родившейся в водах Исландии в 1973 и в 1983 годах и переместившейся затем из Исландии в Гренландию.

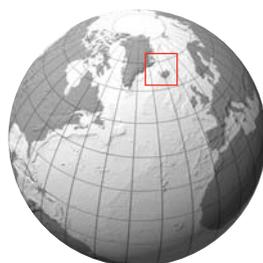
Ожидаемые изменения, вероятно, окажут положительное воздействие на отдельные виды, например, треску и, вероятно, отрицательно повлияют на другие, например, северную креветку, что неизбежно вызовет изменения в рыбной промышленности. Район обитания некоторых арктических видов, включая северную креветку, возможно, сократится, а их численность снизится. Это приведет к сокращению крупных уловов северной креветки в гренландских водах, которые сейчас со-

Современные и прогнозируемые уловы



Связанные с климатом изменения уловов трески и креветки вблизи Гренландии в прошлом и оценка будущих уловов.

Перемешивание вод и пути перемещения рыбы



Основные водные массы в районах Исландии-Восточной Гренландии-Ян-Майена. Красными стрелками показаны главные пути перемещения мальков и рыбной молоди до одного года.



и распределения будут изменяться

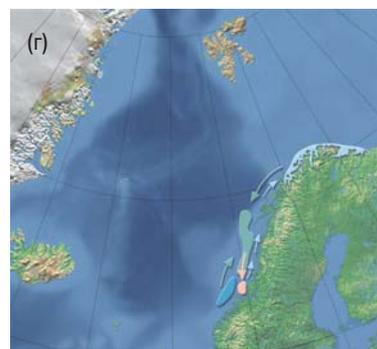
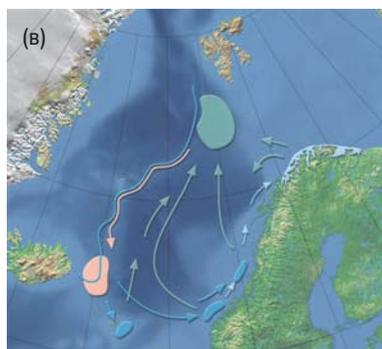
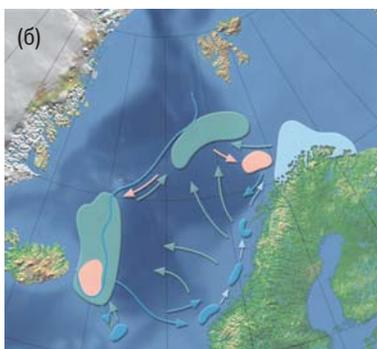
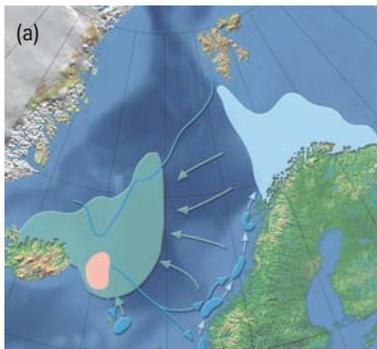
ставляют около 100 000 тонн в год. Северная креветка является важной частью пищевого рациона трески в водах Гренландии. Таким образом, если запасы трески будут расти, как это было в прошлом столетии, то сокращение популяции северной креветки отрицательно отразится на питании и росте численности трески. Так как коммерческая ценность здоровой трески значительно выше, чем ценность креветки, промысел креветки может сократиться еще больше.

Климат, избыточный вылов рыбы и норвежская сельдь

В начале 1950-х годов запасы норвежской сельди, нерестящейся весной, составляли 14 миллионов тонн — самое большое стадо сельди в мире, имеющее большое значение для Норвегии, Исландии, России и Фарерских островов. Тогда эта сельдь мигрировала на запад через Норвежское море к местам нагула в воды, богатые зоопланктоном, к северу и востоку от Исландии, а также в район океана между Исландией и островом Ян Майен (71° с.ш., 8° з.д.). В 1965 году внезапное и сильное похолодание этих вод привело к вымиранию крошечных ракообразных (*Calanus finmarchicus*), которые являлись наиболее важной составляющей пищевого рациона этой сельди. Районы нагула сельди сместились к востоку и северо-востоку на несколько сотен морских миль, таким образом, стадо было подвергнуто сильному воздействию со стороны окружающей среды. В 1960-х годах стадо сельди также перенесло избыточные выловы и исчезло во второй половине этого десятилетия. Хотя высокая интенсивность вылова как взрослых особей, так и молоди, стала основной причиной исчезновения вида, похолодание климата также, возможно, внесло вклад в сокращение численности.

В 1970-х годах небольшому количеству сохранившейся сельди уже не надо было искать корм в отдаленных районах, и она оставалась вблизи берегов Норвегии. Оставшееся стадо сельди было подвергнуто строгому регулированию, вылов рыбы на несколько лет был строго запрещен. Эти ограничения, вместе с благоприятными климатическими условиями, способствовали росту запасов до трех — четырех миллионов тонн, и ограниченный вылов снова возобновился. В 1995 году численность стада достигла пяти миллионов тонн, что привело к расширению районов кормления и миграции в международные воды. Таким образом, сельдь стала доступной для вылова в районах, расположенных вне юрисдикции Норвегии, что сделало режим регулирования, введенный в Норвегии, недостаточным для защиты поголовья и стало угрожать продолжающемуся восстановлению стада. В 1996 году было достигнуто соглашение между Норвегией, Россией, Исландией, Фарерскими островами и Европейским Союзом по установлению квот на выловы норвежской сельди, нерестящейся весной. Такие соглашения будут иметь большое значение в будущем, когда изменение климата приведет к изменениям запасов рыбы и их регионов обитания.

Исторические изменения путей миграции



- Районы нереста
- Районы обитания молодняка
- Основные районы кормления
- Пути миграции на нерест
- Пути миграции к районам кормления
- Пути миграции на нерест.



Запасы норвежской сельди весеннего нереста значительно возросли на протяжении теплого периода в 1920–1930-е годы и затем резко сократились, начиная с конца 1950-х годов. Избыточный вылов стал основной причиной почти полного исчезновения популяции, хотя похолодание климата, возможно, также внесло свой вклад

Изменения миграционных путей, а также районов нагула и зимовки норвежской сельди, нерестящейся весной, во второй половине 20-го века (а). Обычный миграционный маршрут для теплого периода до 1965 года (б-в). После выноса морского льда и пресной воды из Арктики, принесшего холодную, низко соленую воду в Восточно-Гренландские и Восточно-Исландские течения и до почти полного исчезновения стада в 1968 году. (г) В период низкой численности стада (1972–1986 гг.). (д) Современные миграционные пути.

4 Разнообразие видов животных, границы зон обитания



В Беринговом море основное потепление происходит в придонной воде, оно вынуждает те виды рыб и морских млекопитающих, которые обитают в холодных водах, перемещаться к северу и/или сокращать численность.

Климатические сдвиги и воздействия на рыбные запасы

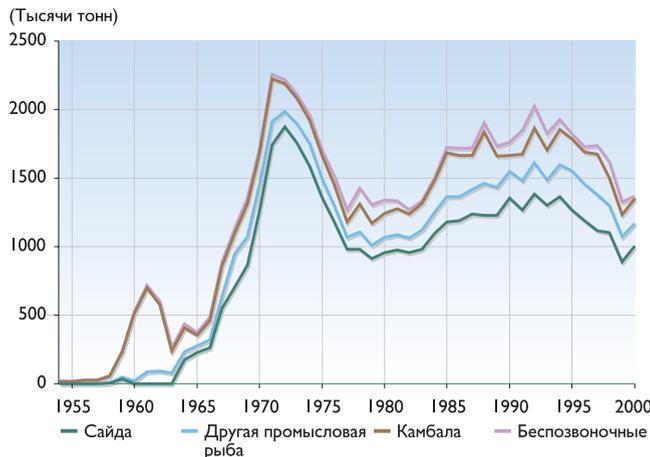
Климатический сдвиг наблюдался в Беринговом море в 1977 году, когда произошла резкая смена от холодного к теплому периоду, что, возможно, было отражением Тихоокеанского десятилетнего колебания. Потепление вызвало изменения в экосистемах, которые оказались благоприятными для сельди, привели к росту численности тихоокеанской трески, скатов, камбалы и неракообразных беспозвоночных. Видовой состав живых организмов океанического дна сменился с крабо-доминирующего на более разнообразный, состоящий из морских звезд, губок и других форм жизни. Исторически здесь ловился тихоокеанский лосось, имеющий высокую коммерческую ценность. Уловы в Уелли Поллок, бывшие небольшими в 1960-х и 1970-х годах (от двух до шести миллионов тонн), выросли до уровня, превышающего десять миллионов тонн, и такой вылов происходил почти ежегодно начиная с 1980 г.

Для большей части Атлантики суммарный эффект от изменения климата на рыбные запасы Арктики и Субарктики, вероятно, будет меньше, чем эффекты вследствие мер по регулированию вылова рыбы, по крайней мере в течение двух-трех ближайших десятилетий. Это, главным образом, является следствием относительно небольшого потепления, ожидаемого для первой части 21-го века в этом регионе. В Беринговом море, однако, быстрое изменение климата уже стало очевидным, и его воздействия значительны. В Беринговом море основное потепление происходит в придонной воде, оно вынуждает те виды рыб и морских млекопитающих, которые обитают в холодных водах, перемещаться к северу и/или сокращать численность. Главной задачей регулирования вылова рыбы в Беринговом море, вероятно, должно стать управление преобразованием экосистем, которое происходит и будет происходить в результате изменения климата.

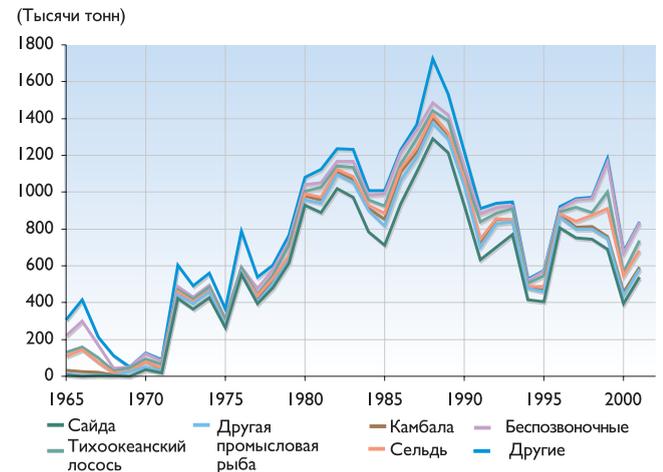
Маловероятно, что воздействия изменения климата на рыбные промыслы будут иметь долговременные социальные и экономические последствия, распространяющиеся на всю Арктику, но, вероятно, будут затронуты определенные районы, сильно зависящие от рыбных промыслов. Возможны очень серьезные миграции населения, и такое уже происходило в истории. Например, когда почти полностью исчезло стадо лабradorской/нюфаундлендской трески в начале 1990-х годов вследствие избыточного вылова, изменений океанических условий и других факторов, многие рыбаки ушли из этого бизнеса или переключились на вылов других видов рыбы, и значение данного промысла в этом регионе резко снизилось. Запасы трески все еще не восстановились, хотя прошло десять лет. Промыслы креветки и краба, которые в итоге заменили промысел трески, требуют менее интенсивного труда и намного меньшего числа рабочих, хотя общая коммерческая выгода от этих промыслов почти в два раза выше, чем выгода от промысла трески. Таким образом, если рыбная промышленность в общем случае может адаптироваться на национальном уровне, то последствия для отдельных людей и районов могут быть очень значительными.



Уловы в восточной части Берингова моря, 1954–2000 гг.



Уловы в западной части Берингова моря, 1965–2001 гг.



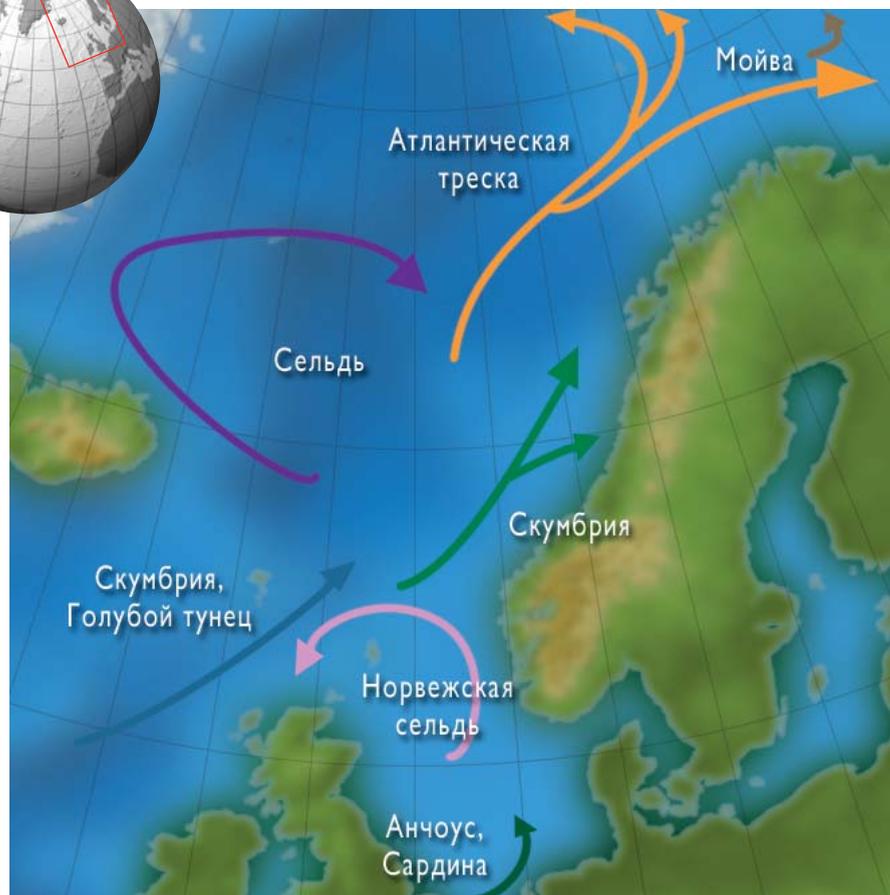
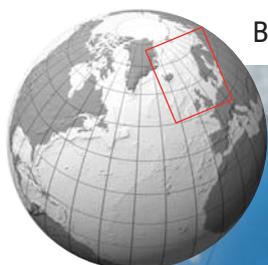
Охота на тюленей, лов рыбы и изменение климата в Западной Гренландии: историческая перспектива

Изменения, происходившие в прошлом в Западной Гренландии, представляют собой хороший пример связи между изменением климата и вызываемыми им социальными и экономическими последствиями. Перемена климата, проявившаяся в потеплении вод к югу и западу от Гренландии в 1920-х и 1930-х годах, заставила переместиться к северу популяции тюленей, что затруднило проживающим там инуитам охоту на них. В то же время треска (также как и палтус, и креветка) переместилась в более теплые воды, способствуя развитию промысла. Некоторые местные народы, например, из города Сисимиут на западном берегу, смогли извлечь преимущество из новых социальных и технологических факторов. Сисимиут стал важным центром рыболовства с новыми видами промышленности и разнообразной экономической базой.

Противоположный пример связан с городом Паамиут в Юго-западной Гренландии. Развитие Паамиута в тот же период опиралось, главным образом, на обильные запасы трески. Небольшое количество других коммерчески значимых ресурсов не давало существенного стимула для разнообразия местной экономики. Эксплуатация единственного ресурса сделала город уязвимым для последствий изменений окружающей среды. Когда популяция трески стала сокращаться вследствие сочетания изменения климата и чрезмерного вылова рыбы, сократились и экономика и население Паамиута. Это показывает, что для выбора стратегии адаптации локальные условия (окружающая среда, социальные, экономические, технологические условия и пр.) являются важными факторами определения степени успешности адаптации региона к изменению.



Возможные изменения в распределении рыбных запасов



Возможные изменения в распределении отдельных видов рыбы в Норвежском и Баренцевом морях вследствие роста температуры океана на величину от 1°C до 2°C.



Если воды Атлантики, распространяющиеся на север вдоль побережья Норвегии, станут теплее на пару градусов, то, возможно, предприятия аквакультуры вынуждены будут сместиться к северу, что вызовет значительные затраты.

Аквакультура

Лосось и форель являются двумя основными видами в Арктике, разводимыми на фермах с высокотехнологичным современным оборудованием, которые больше походят на фермы разведения свиней или индеек, чем рыбы. За последние два десятилетия в Норвегии развилась эта отрасль промышленности, и сейчас эта страна является самым крупным в мире производителем искусственно выращенного лосося. Стоимость общего количества продукции в 2000 г. составила 1,6 миллиарда долларов США, превратив лосося в отдельный наиболее важный вид (с точки зрения экономической выгоды) в рыбной промышленности Норвегии.

Ожидается, что немного более теплая вода может увеличить скорость роста рыбы, но сильное потепление может привести к превышению температуры, допустимой для разводимых на фермах видов. Более теплые воды могут вызвать другие негативные последствия, такие как рост болезней и цветение ядовитых водорослей. Если воды Атлантики, распространяющиеся на север вдоль побережья Норвегии, станут теплее на пару градусов, то, возможно, предприятия аквакультуры вынуждены будут сместиться к северу, что вызовет значительные затраты. Разведение рыбы в море у берегов Ньюфаундленда и Лабрадора станет проблематичным вследствие их широтного положения. Довольно часто температура в верхних слоях воды начинает превышать предел, допустимый для многих видов рыбы, разводимых в настоящее время.

Предприятия аквакультуры сильно зависят от поставок дикой рыбы, т.е. рыбы естественного нереста, вылавливаемой в открытом океане и необходимой для обеспечения рыбными кормами и жирами, которые являются важными компонентами корма выращиваемой на фермах рыбы, такой как лосось и форель. Дикой рыбы надо столь много, что промышленность остро чувствует резкие флуктуации численности необходимых видов дикой рыбы, а такие флуктуации могут зависеть от климатических факторов. Например, явление Эль-Ниньо в Тихом океане уже оказывает воздействие на выращивание рыбы вследствие его сильнейшего влияния на запасы анчоуса. С 1997 по 1998 год мировой промысел анчоуса сократился почти на 8 миллионов тонн, главным образом, из-за Эль-Ниньо. Многие виды, которые вылавливаются сейчас повсюду на корм для выращиваемой на фермах рыбы, одновременно имеют большое значение как корм для дикой рыбы, которая обладает значительно большей промысловой ценностью, но в настоящее время является малочисленной



из-за чрезмерного вылова. Чтобы управляющим рыбных промыслов преуспеть в увеличении численности диких видов рыбы, потребуется значительное сокращение деятельности по выращиванию рыбы на фермах, где в настоящее время происходит переработка важных промысловых видов в корма для рыб и рыбий жир.

Аквакультура Фарерских островов

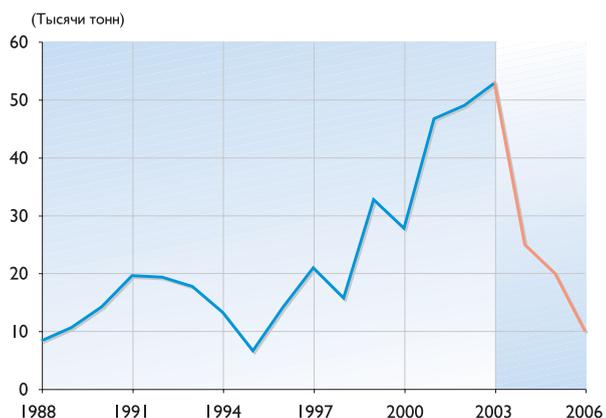
Район Фарерских островов является одним из наиболее важных районов нагула для атлантического лосося европейских популяций. Острова этого архипелага разбросаны в море и имеют короткие фьорды и узкие заливы, являющиеся относительно открытыми районами с заметными океаническими течениями, предотвращающими застои воды. Это создает хорошие условия для выращивания на фермах лосося и радужной форели, которые до сих пор являются наиболее распространенными видами для искусственного разведения. В 1980-х годах на Фарерских островах рыбопроизводное хозяйство стало видом промышленности с годовым объемом, достигшим к 1988 году 8000 тонн. В первой половине 1990-х гг. этот вид промышленности пришел в упадок вследствие разорения многочисленных мелких рыбопроизводных ферм, вызванного значительным падением рыночных цен на лосося искусственного разведения. Заболевания рыб также сыграли роль в упадке этого бизнеса. Производство рыбы возобновилось снова в конце 1990-х гг., и в 2001 г. рыбопроизводные фермы были объединены в несколько больших компаний, которые в настоящее время ведут производство в 23-х регионах. Сейчас почти в каждом подходящем заливе и фьорде архипелага есть рыбопроизводная ферма.

Фарерские острова стали крупным мировым игроком на рынке искусственного выращивания лососевых, достигшим в 2003 г. рекордного объема в 53000 тонны живого веса лосося и радужной форели стоимостью около 180 миллионов долларов США. При населении в 45 000 человек это означает производство почти 1200 кг искусственно выращенной рыбы на каждого жителя. Более 300 человек заняты непосредственно на фарерских рыбопроизводных фермах. Также, около 1000 человек вовлечены в процесс обработки и транспортировки рыбы, приготовления продуктов из рыбы и других видов работ, связанных с рыбным фермерством. В последние годы значимость аквакультуры для экономики Фарерских островов стала больше, чем в любой другой стране. В 2001 – 2003 гг. доля продукции рыбного фермерства составила примерно 25% в общем доходе от экспорта. Единственной другой значимой статьёй экспорта, чья доля составляет около 70% экспортных доходов, является продукция промысла дикой морской рыбы.

Однако, аквакультура сталкивается со все растущими проблемами. Финансовые затраты увеличиваются вследствие заболеваний лосося и значительного падения рыночных цен. Некоторые неизлечимые заболевания, особенно инфекционная анемия и заболевания почек, вызываемые бактериями, стали случаться на Фарерских островах необычно часто. Промышленности требуется приток капитала для поддержания производства на уровне последних лет, но проблемы вследствие заболеваний и низких цен на рынке делают такой приток капиталов маловероятным. Поэтому прогноз говорит о падении производства в 2004 – 2006 гг., как это показано на рисунке. Потепление климата может оказать как положительные, так и отрицательные воздействия. Если потепление не превысит 5°C, то скорость роста рыбы и продолжительность сезона роста, согласно прогнозу, возрастут. Более значительный рост температуры может превысить термический порог условий существования рыбы. Потепление также способствует увеличению случаев заболеваний рыбы и цветению токсичных водорослей.



Возможные изменения объема продукции рыбопроизводных ферм на Фарерских островах



Производство атлантического лосося и радужной форели, разводимых на фермах, в период 1988–2003 гг. Красной линией показан прогноз на период 2004–2006 гг., прогнозируемое падение отражает проблемы, вызываемые заболеваниями рыбы и экономическими причинами. Изменение климата вносит дополнительные неопределенности.

4 Разнообразие видов животных, границы зон обитания

Глобальный уровень



Крачки

Киты

Исландские песочники

Животные материка

Животный мир материковой Арктики включает в себя мелкие виды травоядных, таких как суслики, зайцы, лемминги и полевки; крупные виды травоядных, таких как американский лось, северный олень и овцебык; и плотоядных, таких как ласка, россомаха, волк, лиса, медведь и хищные птицы.

Маршруты миграций животных на большие расстояния зависят от таких последствий изменения климата, как изменения районов обитания и доступность пищевых ресурсов. Так потепление в Арктике оказывает глобальное влияние на дикую природу.

Изменение климата, вероятно, вызовет каскад воздействий, вовлекающих многие виды растений и животных. В арктических экосистемах по сравнению с экосистемами более теплых регионов, находится, в целом, меньшее количество видов, выполняющих аналогичные роли.

Следовательно, когда арктические виды вытесняются из региона, это может значительно повлиять на зависящие от них виды. Например, мхи и лишайники наиболее уязвимы к потеплению. Поскольку эти растения формируют базу для важных пищевых цепей, обеспечивая основные источники пищи зимой для северного оленя и других видов, то их исчезновение вызовет далеко идущие последствия для всей экосистемы. Сокращение популяций северного оленя повлияет на виды, которые на них охотятся (включая волков, россомах и людей), также как и на виды, которые питаются их останками (например, песцов и птиц). Поскольку некоторые отдельные народности особенно сильно зависят от северного оленя, то их благополучие также будет затронуто.

Региональный уровень



- ← Белые медведи
- ← Деревья и кустарники
- ← Киты
- ← Птицы
- ← Лосось
- ← Северные олени

Образование ледяной корки из-за чередования оттаивания и замерзания оказывает влияние на большинство животных материковой Арктики, заковывая в лед растения, используемые в пищу, и значительно ограничивая доступ к корму.

На региональном уровне зоны распространения растительности и районы обитания животных, связанных с ней, будут смещаться вследствие потепления, таяния вечной мерзлоты, изменения влажности почвы и землепользования. Смещения зон обитания будут ограничены географическими барьерами, такими как горы и водоемы. Смещения зон обитания планктона, рыбы, морских млекопитающих и морских птиц, особенно связанных с отступающей кромкой льда, будут определяться с изменениями температуры воздуха и морской воды и изменениями ветра.

На уровне ландшафтов



На уровне ландшафтов изменения в мозаике почв и соответствующих им растений и сообществ животных будут связаны с вызываемым потеплением пересыханием прудов, образованием новых переувлажненных районов, изменением видов землепользования, разделением зон обитания, вредителями и болезнями. Эти изменения затронут способность животных к воспроизводству, распространению и выживанию, приводя к потерям северных видов и расширению зон обитания южных видов.



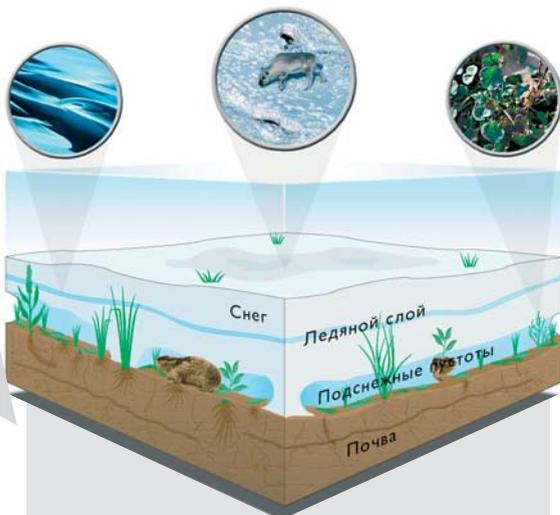
Климат будущего	Тундра и полярные пустыни	Сохранение природы
4	7	10

и распределения будут изменяться

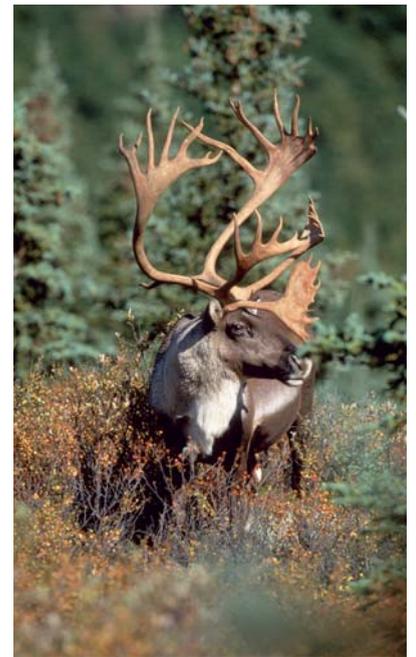
и, иногда, вызывая гибель растений. Лемминги, овцебыки и северные олени — все страдают от этого явления. Значительные сокращения популяций из-за обледенения, вызванного повторяющимися случаями замерзания-таяния, уже имели место, и их частота возросла за последние десятилетия. Прогнозируемый рост зимней температуры более чем на 6°C к концу этого века (средняя оценка по расчетам с пятью моделями, используемыми в АСИА) может привести к увеличению числа случаев чередования периодов таяния и замерзания. Инуиты Нунавута в Канаде сообщают, что число оленей сокращается в те годы, когда наблюдается много циклов замерзания-таяния. Саамы в Швеции отмечают, что за последнее десятилетие снег осенью на летних пастбищах чаще ложится на незамерзшую землю, чем на замерзшую, что приводит к гниению и ухудшению качества растений следующей весной.

Потепление вызывает и другие каскадные воздействия на арктических животных суши. Зимой лемминги и полевки живут и кормятся в пространстве между замерзшей землей тундры и снегом, почти не выходя на поверхность. Снег обеспечивает необходимую изоляцию. Мягкая погода и мокрый снег приводят к разрушению этих подснежных пространств, уничтожая норки полевок и леммингов, в то время как образование ледяной корки снижает теплоизоляционные свойства снежных слоев, жизненно необходимые для выживания. Устоявшиеся циклы популяций леммингов и полевок в некоторых районах больше не прослеживаются. Сокращение популяций этих животных может привести к сокращению популяций животных, охотящихся на них, особенно тех, которые специализируются на ловле леммингов, например, снежных сов, чаек, ласок и горностаев. Сокращение популяций леммингов может, очень вероятно, привести даже к более сильному сокращению популяций вышеперечисленных хищников. Более всеядные хищники, например, песцы, переходят на питание другими видами в те периоды, когда популяции леммингов становятся малочисленными. Таким образом, сокращение численности леммингов может также косвенно повлиять на сокращение популяций других объектов охоты хищников, например, болотных и других птиц.

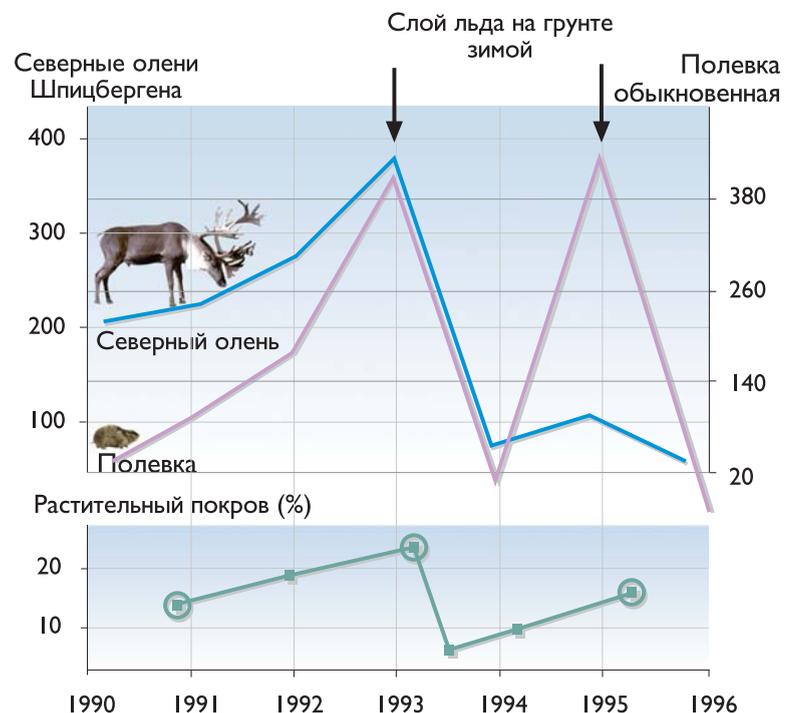
Локальный уровень



Изменения в характеристиках снега, слоях наледей, пустотах под снегом, в летней температуре и в пищевых циклах влияют на отдельные растения, животных и почвенные микроорганизмы, вызывая тем самым изменения в популяциях. Отклики на изменение климата происходят на уровне отдельных животных и растений, что приводит к сдвигам зон растительности на всей Земле.



Каскад воздействий, вызываемых изменением климата



Динамика популяций (число особей на выделенной территории) северного оленя и полевок обыкновенных на Шпицбергене, в зависимости от наблюдавшихся (кружки) и прогнозируемых (квадраты) изменений растительности.

4 Разнообразие видов животных, границы зон обитания



“Погодные условия предзимья стали очень переменчивы: дождь сменяется небольшими морозами. Это препятствует доступу северного оленя к лишайникам. В отдельные годы это вызывало огромные потери поголовья северного оленя. Все очень просто: нижний слой снега замерзает и олень не может пробиться к лишайникам. Это сильно отличается от ситуации в предшествующие годы. В этом кроется одна из причин, почему лишайников стало меньше. Олень вынужден выбивать лишайник копытами, добывая все растение целиком, вместе с корнями. Требуется очень много времени для регенерации лишайника, если вытаскивать его с корнями”.

Хейкки Хирвасвуопио
Какслауттанен, Финляндия

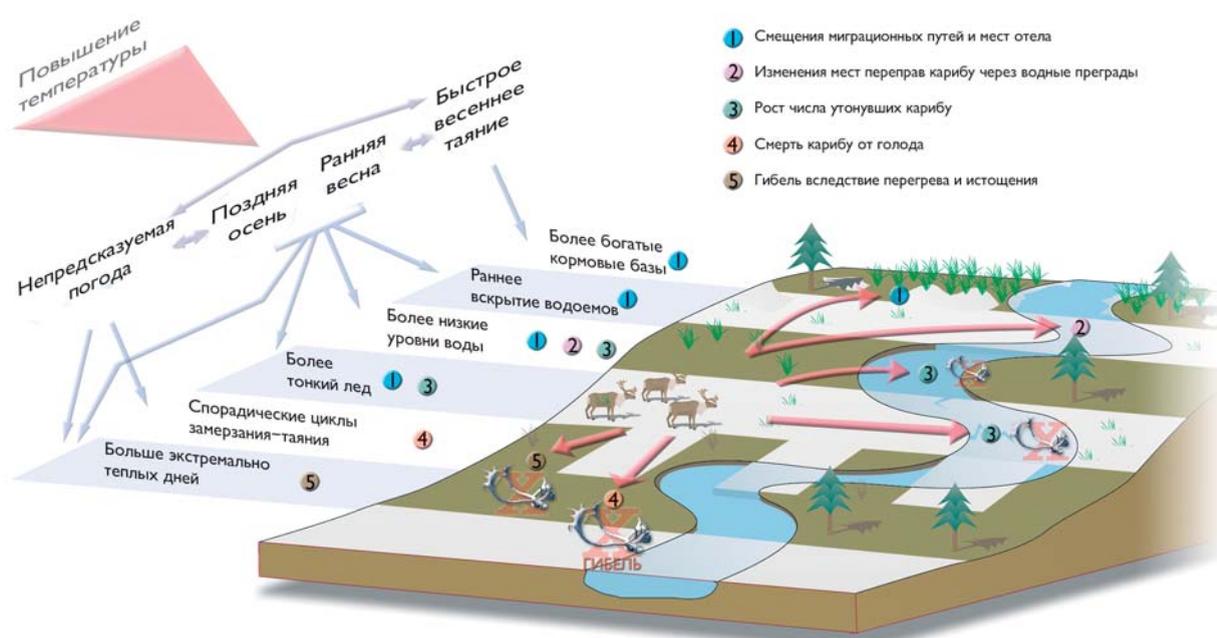
Карибу/Северный олень

Карибу (Северо-американские формы *Rangifer tarandus*) и северный олень (евразийские формы тех же видов) имеют первостепенное значение для народов Арктики как источник пищи, материала для жилищ, топлива, орудий труда и других предметов быта. Стада карибу и северных оленей зависят от возможности доступа к достаточно обильной растительности тундры и хороших условий выпаса, особенно в период отела. Климатические изменения в арктической тундре, согласно оценкам, приведут к значительному сдвигу растительных зон на север, сокращая площадь тундры и традиционную кормовую базу для этих стад. Циклы замерзания-таяния и число случаев ледяного дождя также, согласно оценкам, возрастут. Эти изменения будут иметь большое значение для способности популяций карибу и северных оленей отыскивать пищу и выращивать потомство. Таким образом, будущее изменение климата может привести к сокращению популяций карибу и северных оленей, что несет угрозу рациону питания многих коренных народов и всему образу жизни некоторых арктических сообществ.

Карибу Пири

Современное сокращение популяции карибу Пири (небольшая популяция белого подвида, обитающая только в Западной Гренландии и на арктических островах Канады) является настолько серьезным, что ряд сообществ ограничили и даже запретили охоту на эти виды для обеспечения личных нужд. Численность популяции карибу Пири на арктических островах Канады упала с 26 000 голов в 1961 г. до 1000 голов в 1997 г., что послужило причиной объявления с 1991 г. этих подвигов находящимися в опасности. Сокращение численности карибу Пири могло быть вызвано осенними дождями, вследствие которых источник зимней пищи сковывало льдом, а снег покрывался ледяной коркой, что ограничивало доступ к корму. Также, годовая сумма осадков в виде снега в западной части Канадской Арктики возросла в период 1990-х годов, и три очень снежных зимы совпали с падением численности карибу Пири на острове Батерст с 3000 до 75 голов между 1994 и 1997 годами.

Наблюдения инуитами Китикмеота воздействия потепления на карибу



Популяция карibu в долине реки Поркупайн

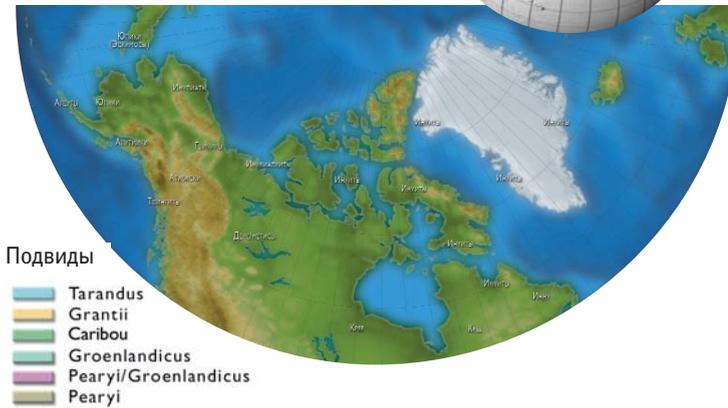
Популяция карibu в долине реки Поркупайн является одним из примерно 184-х диких стад карibu в мире, это восьмое по численности стадо в Северной Америке и самое большое стадо млекопитающих, мигрирующее между США и Канадой. За стадом карibu Поркупайн велись периодические наблюдения с начала 1970-х гг. Популяция росла примерно на 4% в год от первоначально зафиксированной численности около 178 000 голов в 1989 году. В течение этого же периода выросла численность популяции всех основных стад во всей Северной Америке. По-видимому, это был отклик на явления континентального масштаба, вероятно, обусловленные изменением климата. С 1989 г. стадо сокращалось на 3,5% в год, до 123 000 голов в 2001 г. Стадо карibu Поркупайн, видимо, обладает большей чувствительностью к последствиям изменения климата, чем другие крупные стада.

Экосистема, определяемая зоной обитания стада Поркупайн, включает человеческие сообщества, большинство которых зависит от использования карibu для пропитания. Среди них народности Гвичин, Инувиат, Инувиалуйт, Хан, Северные Тучоне, чья связь с этим стадом существует в течение многих тысячелетий. Исторически карibu служили главным ресурсом, дававшим возможность коренным народам севера переживать тяготы суровых арктических и субарктических условий. Периоды сокращения количества карibu часто сопровождалась сильными невзгодами для людей. Документальные и устные свидетельства подтверждают, что периоды падения численности карibu в Северной Америке совпадали с периодами изменения климата.

Сегодня карibu остаются важной частью смешанной дотационно-натуральной экономики, в то же время продолжая быть центральной фигурой мифологии, духовной жизни и культурного самосознания коренных народов. Объем промысла карibu Поркупайн изменяется год от года, в зависимости от местонахождения животных, возможности доступа к ним людей и потребностей сообществ. Общее число добываемых животных этого стада за год обычно находится примерно в пределах от 3 000 до 7 000 особей. Ответственность за регулирование численности стада и за защиту его среды обитания в Канаде разделена между теми, кто ведет промысел карibu (главным образом, коренными народами) и государственными службами с законными полномочиями по регулированию.



Зоны обитания карibu и коренные народы Северной Америки



Ключевой вывод №4

Число добываемых особей стада карibu Поркупайн по группам пользователей



Эта диаграмма показывает разделение среднегодового промысла стада карibu Поркупайн в северо-западной Канаде и на северо-востоке Аляски по группам населения. Примерно 89% карibu добывается в Канаде и более 90% всех добываемых карibu приходится на сообщества коренных народов.



4 Разнообразие видов животных, границы зон обитания



Гвичины и стадо карибу Поркупайн

Гвичины живут в тесной связи со стадом карибу Поркупайн на протяжении тысячелетий. Сообщества гвичин носят имена по названиям рек, озер и других объектов земли, с которыми они ассоциируются. Племя Вунтут гвичин ("озерные гвичины") из Олд Кроу, численностью 300 человек, на Юконе (Канада) находится в центре зоны обитания стада карибу Поркупайн, благодаря чему имеет возможность охотиться на карибу во время их осенних и весенних миграций. Промысел карибу, в среднем, достигает пяти животных на человека в год. Обычай делить добычу между домашними хозяйствами в своем сообществе и с соседними сообществами является важной культурной традицией и, как предполагается, поможет успешной охоте в будущем.

"Если бы я был карибу, я пребывал бы сейчас в довольно сильном замешательстве".

Стефен Миллс
Олд Кроу,
Канада



Факторы, связанные с изменением климата, влияют на здоровье животных, сезонное и годовое местоположение стада и его передвижения. Климатические изменения оказывают воздействия на доступ охотников к местам охоты, например, вследствие изменения сроков ледостава и вскрытия льда на реках и изменения высоты снежного покрова.

Каждую весну на протяжении многих поколений стадо карибу Поркупайн пересекало замерзшую реку Поркупайн, двигаясь к местам отела в Арктическом национальном заповеднике дикой природы на Аляске. В последние годы стадо стало задерживаться при переходе на север, так как более глубокий снег и растущее число циклов замерзания-таяния снижают доступность пищи, увеличивают время, затрачиваемое на питание и переходы, и, в итоге, отрицательно влияют на здоровье стада. При этом лед на реках весной теперь начинает таять раньше. Сейчас, когда стадо подходит к реке, река уже свободна ото льда. Некоторые самки теперь телятся на южной стороне реки и должны перебираться через быструю воду с новорожденными оленятами. Тысячи оленят тонут в реке, а матки продолжают путь на север без них.



Будущее коренных народов	Управление миром дикой природы	Охота, оленеводство и рыболовство
3	11	12

и распределения будут изменяться

Возможные воздействия изменения климата на стадо карibu Поркупайн

Изменение климата	Воздействие на среду обитания	Воздействие на передвижение	Воздействие на физ. состояние	Воздействие на репродуктивные функции	Аспекты регулирования
Ранние сроки таяния снега на прибрежной равнине	Более высокая скорость роста растений	Смещение к северу основных мест отела	Оленята быстрее накапливают запас белков	Повышение вероятности наступления беременности	Забота о развитии северной части существующей зоны отела
		Меньшее использование подножий холмов для отела	Оленята растут быстрее		
			Меньше риска со стороны хищников	Повышение выживаемости июньских телят	
Более теплое и сухое лето	Более раннее наступление пика биомассы	Ранний уход с Аляски	Рост беспокойства приводит к ухудшению физического состояния	Понижение вероятности наступления беременности	Сохранение районов, где нет насекомых
	Растения раньше становятся жесткими	Большее использование прибрежной зоны во время пребывания на Аляске			
	Снижение численности в местах, где много комаров	Более сильная зависимость от районов, где нет насекомых, особенно с середины по конец июля			
	Значительный рост активности оводов				
	Повышенная частота пожаров в районах зимнего обитания				
	Уменьшение "грибных" годов				
Более теплая влажная осень	Более частые случаи гололеда	Карibu уходят из районов, где поверхность сильно обледеневаает	Неизвестно	Неизвестно	Защита малоснежных районов
Более теплая влажная зима	Более глубокий и плотный снег	Возрастание использования малоснежных районов	Сильная потеря веса за зиму	Связь между матерью и детенышем прерывается раньше	
		Более поздний уход из района зимовки			
Более теплая весна	Больше дней с явлениями заморозания/таяния, образование наледей	Перемещение на наветренные склоны	Ускоренная потеря веса весной	Большой риск нападения волков из-за перехода на наветренные склоны	Забота о сроках и местах весенней миграции в связи с промыслом
	Более быстрое таяние снега и льда весной	Более быстрая миграция весной			Более низкая продуктивность из-за высокой весенней смертности
Суммарный эффект	Улучшение условий в районе отела, вероятное ухудшение качества летнего, осеннего и зимнего выпаса	Менее предсказуемые сезонные передвижения, менее предсказуемые сроки	Улучшение условий в июне, при ухудшении в конце лета, более быстрая потеря веса зимой и ранней весной	Улучшение хода беременности, при общем снижении выживаемости и сокращении молодняка; сдвиг смертности на более поздние сроки (поздняя зима, весна); очень вероятно уменьшение стада	Необходимость оценить степень защищенности среды обитания в связи с изменением климата
	Экстремальные явления (например, очень глубокий снег или очень позднее таяние), к которым трудно приспособиться				Необходимо определить воздействия изменения климата на объемы промысла
					Необходимо связать воздействия климата с условиями промысла и его сроками
					Необходимо начать мониторинг



"Иногда, когда их ждешь, они не появляются. Иногда, когда их не ждешь, они появляются. У нас есть 15 поселений в северо-восточной части Аляски и северной территории Юкона, и несколько поселений на Северо-Западной территории, где люди зависят от одного стада карibu. Мы – народ карibu.. и мы все зависим от одного и того же стада карibu, которое мигрирует мимо наших поселений".

Сара Джеймс
Арктический поселок, Аляска



4 Разнообразие видов животных, границы зон обитания



Поскольку тающая вечная мерзлота и другие воздействия изменения климата приводят к тому, что обитатели пресных вод исчезают, перестраиваются и изменяются, то вероятны существенные изменения в видах и в использовании ими водной среды.

Пресноводные экосистемы

Пресноводные экосистемы Арктики включают в себя реки, озера, пруды и заболоченные территории, растения и животных, живущих в них, и их окружающую среду. В эти экосистемы входят рыбы, такие как лосось, коричневая и озерная форель, арктический голец, омуль, сиговые и хариус; млекопитающие, например, бобры, выдры, норки и ондатры; водоплавающие птицы, такие как утки и гуси; и птицы, питающиеся рыбой, например, гагары, скопы и белоголовые орланы.

Изменение климата будет прямо и косвенно оказывать воздействие на этих животных и соответствующее биоразнообразие. Многие эффекты являются следствием обусловленных климатом физических и химических изменений у пресноводных обитателей. Особо важными являются рост температуры воды и количества осадков, таяние вечной мерзлоты, сокращение длительности ледостава на реках и озерах и уменьшение толщины льда, изменения сроков и интенсивности стока рек и возрастающие потоки загрязняющих, питательных и осадочных веществ. Пресноводные экосистемы также являются важными для морских экосистем, так как они выполняют роль посредников между экосистемами суши и моря, передавая сигналы, получаемые с материка, в морскую среду. Ниже даны примеры воздействия на пресноводные экосистемы роста температуры воды, таяния вечной мерзлоты, изменения ледового покрова на реках и озерах и роста уровня загрязнений.

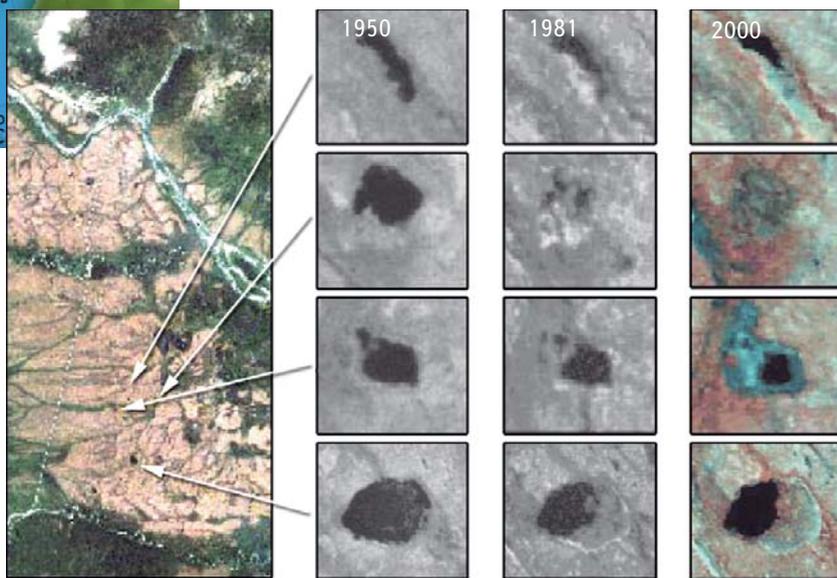
Рост температуры воды

Рост температуры воды, вероятно, сделает невозможным для некоторых видов нахождение в тех местах рек и озер, где они прежде обитали. Неоптимальные термические условия, вместе с другими возможными эффектами, такими как соперничество с видами, перемещающимися с юга, могут значительно сократить зоны обитания некоторых арктических пресноводных видов, например, сиговых, арктического гольца и арктического омуля.

Таяние вечной мерзлоты

При таянии вечномерзлых почв из-за роста температуры может наблюдаться уход воды из озер в грунтовые воды, что в итоге приведет к исчезновению там водной среды обитания. С другой стороны, разрушение поверхности грунта вследствие таяния вечной мерзлоты может привести к проваливанию почвы с образованием мест, где могут формироваться новые болота и пруды, что увеличивает размеры водной среды обитания. Баланс этих изменений неизвестен, но

так как обитатели пресных вод исчезают, перестраиваются и изменяются, то вероятны существенные изменения в видах и в использовании ими водной среды.



Уменьшение размеров прудов в тундре

Слева показаны пруды полуострова Сьюард на Аляске. Из 24-х прудов, исследовавшихся здесь, 22 уменьшились в размерах с 1951 по 2000 г. Огромное число прудов в тундре сократило свои размеры за последние 50 лет. Вероятный механизм пересыхания – внутренний дренаж из-за таяния верхнего слоя вечной мерзлоты.



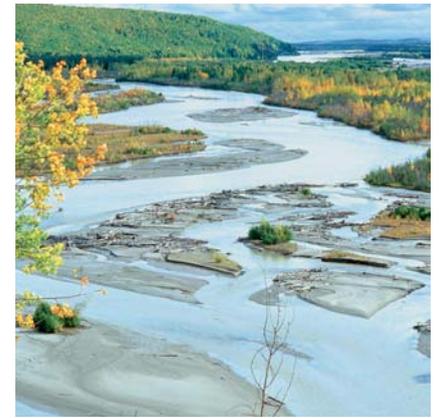
Изменения ледового покрова на реках и озерах

На экологию рек и озер оказывают сильное влияние ледовый покров и сроки его весеннего таяния. Экологические воздействия проявятся из-за изменения сроков вскрытия льда, что окажет сильное влияние на источники питательных веществ и осадочного материала и на саму воду, то есть на то, что необходимо для нормального функционирования экосистем дельт и пойм рек. Изменение сроков замерзания и таяния льда и изменения типов льда также влияют на температуру воды и уровни растворенного кислорода, необходимого многим живым организмам. Изменения в видовом составе, в разнообразии и структуре пищевых цепей находятся среди ожидаемых результатов изменений, связанных с переменами климата. Сокращение площади ледового покрова приведет также к существенному увеличению вредного воздействия ультрафиолетовой радиации на подводные формы жизни.

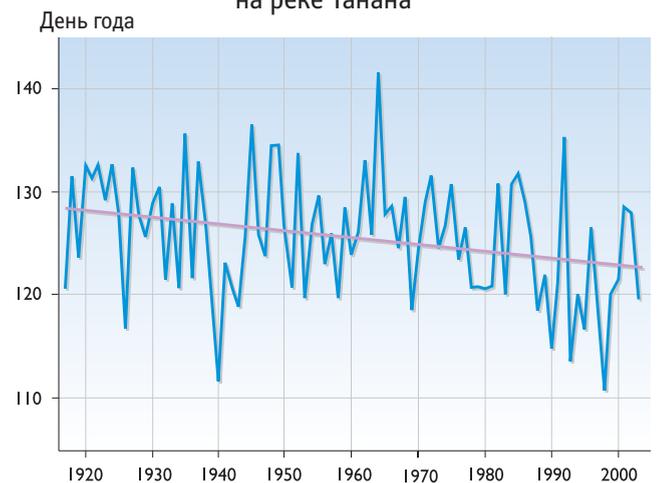
Суммарный эффект более позднего замерзания и более раннего вскрытия льда на реках и озерах привел за последние 100 лет к сокращению сезона ледостава на одну – три недели в зависимости от района. Этот тренд проявляется наиболее сильно в западных районах Евразии и Северной Америки. Согласно оценкам, сокращение площади ледового покрова на реках и озерах Арктики будет продолжаться в течение следующих ста лет, причем наиболее значительное – в самых северных районах. Сроки замерзания и вскрытия сильно связаны с потеплением, так как таяние льда ускоряет процесс дальнейшего потепления поверхности, что вызывает еще большее таяние и, соответственно, большее потепление и т.д. Согласно оценкам, более длительные безледные периоды приведут к росту испарения, что вызовет понижение уровня воды, хотя это может компенсироваться увеличением количества осадков, чему, как ожидается, будет способствовать рост испарения с открытой поверхности океана в районах отступления морского льда. Эти изменения повлияют на формирование условий, определяющих, будут ли северные территории с торфяными болотами поглощать или выделять парниковые газы, а именно углекислый газ и метан. Течения в низовьях рек и параметры наводнений изменятся, когда изменится количество осадочного материала, выносимого реками в Северный Ледовитый океан.

Загрязняющие вещества

Очень вероятно, что потепление будет способствовать увеличению переноса загрязнений в Арктику, причем возросшее количество осадков приведет к росту количества устойчивых органических загрязнителей и ртути, оседающих в регионе. С ростом температуры снег и лед, накапливаемые в регионе в течение периода от нескольких лет до десятков лет, будут таять, и с талой водой из них будут высвобождаться загрязняющие вещества. Таяние вечной мерзлоты может высвободить загрязняющие вещества подобным же образом. Это увеличит число случаев сильного загрязнения рек и прудов, что может вызвать токсичные эффекты у водных растений и животных, а также увеличить перенос загрязнений в море. Воздействия могут быть усилены низкими уровнями воды, связанными с увеличением испарения из-за роста температуры (возможно, компенсируемым ростом количества осадков в некоторых районах). Возрастающие уровни загрязнения арктических озер приведут к накоплению вредных веществ в рыбе и других животных, которое будет расти по мере передачи вверх по пищевой цепи.

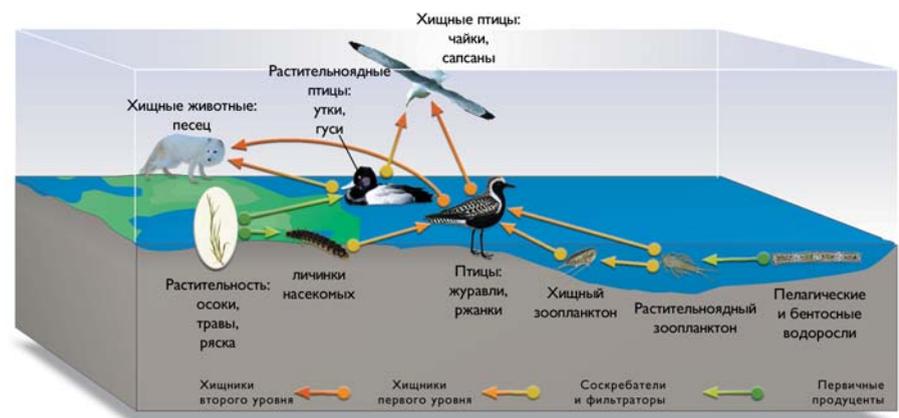


Сроки вскрытия льда на реке Танана



На графике показаны даты вскрытия льда на реке Танана в Ненане, Аляска, за последние 80 лет. На фоне значительной межгодовой изменчивости наблюдается тенденция наступления более раннего вскрытия на срок более недели.

Пресноводная пищевая цепь





Пресноводная рыба

Наиболее южные виды, согласно оценкам, сместятся к северу, вступая в борьбу за ресурсы с северными видами. Сиговые, арктический голец и арктический омуль являются наиболее уязвимыми к этому, так как их территории обитания целиком или в большей части расположены на самом севере. С ростом температуры воды места нереста видов, обитающих в холодной воде, сместятся на север и, вероятно, сократятся в размере. Приходящие с юга виды рыбы могут принести новых паразитов и болезни, к которым арктическая рыба не адаптируется, что повышает риск гибели арктических видов. Последствия этих изменений могут стать разорительными как для промыслового, так и для потребительского рыболовства в регионах крайнего Севера, так как наиболее уязвимые виды зачастую оказываются единственными видами рыбы, там обитающими. В некоторых местах на юге материковой части Арктики новые виды, появившиеся с юга, могут дать новый импульс для рыболовства, а возросшая численность некоторых популяций северных рыб из-за более интенсивного роста может способствовать увеличению уловов некоторых видов.

Арктический голец

Арктический голец является наиболее северной пресноводной рыбой в мире и встречается по всей Арктике. Некоторые популяции изолированы в озерах, где они кормятся личинками комаров и мошек и растут очень медленно. Другие популяции перемещаются летом в море, где они кормятся ракообразными и мелкой рыбой, и голец в этих популяциях растет быстрее. Рост температуры в реках, озерах, эстуариях и морских прибрежных районах, вероятно, вызовет рост популяций обоих типов гольца, особенно в средних широтах их района распространения, в предположении, что одновременно будет расти продуктивность пищевой цепи в целом. Вероятно, это увеличит возможности рыболовства, но может быть компенсировано эффектами конкуренции со стороны новых видов рыбы.



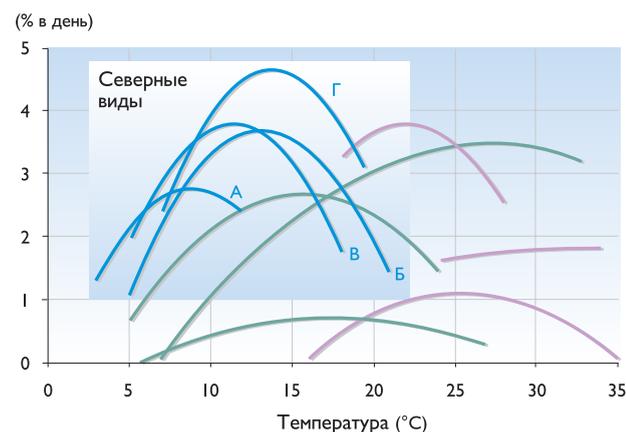
Последствия этих изменений могут стать разорительными как для промыслового, так и для потребительского рыболовства в регионах крайнего Севера, так как наиболее уязвимые виды зачастую оказываются единственными видами рыбы, там обитающими.

Исследование арктического гольца в озере Резольют в Канаде показывает, что рост температуры вызывает рост газообмена рыб с окружающей средой, что приводит к накоплению в рыбе тяжелых металлов. Другие воздействия изменения климата, отмеченные на предыдущей странице, также, по-видимому, приведут к увеличению уровней загрязнения озер. Кроме этого, сокращение ледяного покрова на озерах, более интенсивное перемешивание слоев воды и другие изменения вследствие потепления, согласно оценкам, приведут к тому, что в озерах будет накапливаться больше загрязняющих веществ, чем во впадающих в них реках и ручьях.

Арктический хариус

Арктический хариус является рыбой, живущей в проточной воде, с жизненным циклом около 12 лет. В некоторых северных районах он является единственным видом рыбы, который обитает в местных реках и ручьях. Для озера Тулик (маленькое озеро в тундре Аляски) на основе отслеживания каждой отдельной рыбы собраны данные о хариусе за 25 лет.

Скорость роста рыб и температура



Кривые роста (в % в день) для различных видов рыбы показывают, что обычно рост усиливается с ростом температуры до определенной точки, а затем замедляется, хотя температура продолжает расти. Северные виды (А–Арктический голец, Б–Озерный омуль, В–Озерная форель и Г–Ручьевая форель – все показаны голубым цветом) сгруппированы в области низких температур слева, и имеют более выраженный пик, соответствующий узким диапазонам достаточно низких температур достижения оптимального роста. Это показывает, что их способность адаптироваться к потеплению климата, вероятно, является достаточно ограниченной. Непомеченные кривые роста относятся к различным видам более южных широт.

Результаты показывают, что, если молодой хариус чувствует себя хорошо в теплой воде, то взрослые особи — значительно хуже, фактически теряя вес в теплые годы. Ожидаемое потепление климата, вероятно, станет причиной сокращения этой популяции при отсутствии возможности для других видов попасть в это озеро естественным путем.

Озерная форель

На основе детальных исследований предполагается, что более теплый климат будущего окажется сильным стрессом для озерной форели с соответствующими воздействиями на пищевую цепь. Воздействие на озерную форель будет наиболее негативным в более мелких озерах в южной части зоны обитания форели в Арктике. Воздействие для более крупных и расположенных севернее озер может быть позитивным, по крайней мере, на короткий период. Длительные исследования в озере Тулик на Аляске показывают, что будущее потепление, вероятно, вызовет сокращение популяции форели в этом озере. Исследования показывают, что рост температуры воды в июле на 3°C может стать причиной того, что озерной форели первого года жизни надо будет потреблять в восемь раз больше пищи, чем в настоящее время, только для того, чтобы поддержать адекватное состояние организма. Эта потребность значительно превышает современный запас доступной пищи в озере.

Сочетание повышенной температуры, более длительного безледного сезона и возросшего количества фосфора в воде (поступающего в реки с таянием вечной мерзлоты), как ожидается, увеличит продуктивность мелких водных организмов, потребляющих кислород. Это приведет к снижению концентрации кислорода в более глубоких слоях до уровня ниже необходимого для озерной форели (и для некоторых других живых организмов), тем самым сокращая численность обитателей придонных вод. С нагреванием поверхностного слоя воды выше порога, требуемого для этой рыбы, жизненное пространство форели будет сокращаться до небольшой области между неблагоприятными условиями вблизи поверхности и дна озера. Исчезновение озерной форели, хищника, находящегося на вершине этой экосистемы, вероятно, приведет к каскадному воздействию на всю пищевую цепь и, тем самым, на структуру и функционирование всей экосистемы.

Водные млекопитающие и водоплавающие птицы

Районы обитания водных млекопитающих и водоплавающей птицы, вероятно, будут смещаться на север в связи с потеплением. Сезонная миграция, вероятно, будет также начинаться весной раньше и заканчиваться осенью позже, если температура будет достаточно высокой. Пригодность мест гнездования и доступность пищи будут основными регуляторами изменений характера миграций. Например, болота являются важными местами гнездования и прокорма уток и гусей весной. При таянии вечной мерзлоты, вероятно, будет образовываться больше болот (формирующихся там, где будет проседать прежде мерзлый грунт), что делает более ранними сроки миграции на север видов, обитающих в южных болотах, или увеличивает численность и разнообразие видов, проживающих в северных широтах в настоящее время. Однако, для реализации этих ситуаций должны одновременно иметь место и более ранние сроки доступности местных источников питания.

Млекопитающие и птицы, перемещающиеся на север, вероятно, принесут с собой новые болезни и паразитов, которые будут представлять новую угрозу арктическим видам. Другая потенциальная угроза от миграции на север южных видов состоит в том, что они могут вступить в конкуренцию с северными видами за места обитания и ресурсы. Репродуктивность северных видов может снизиться либо при смещении подходящей зоны обитания на север, либо при снижении возможности обитания в ней или доступа к ней.

“Появились новые виды растений. Мы никогда не видели их прежде. Это то, что мы наблюдаем. Новые растения пришли и в тундру. Даже в реке появились рыбы, до этого обитавшие в средних широтах России. Прошлым и позапрошлым летом здесь было очень жарко. Реки и озера заполнились ряской, и озеро начало цвести. Жизнь рыб усложнилась, также как и возможности лова рыбы вследствие зарастания озера новыми растениями”.

Лариса Авдеева
Ловозеро, Россия



5 Многие сообщества и объекты хозяйственной деятельности, расположенные

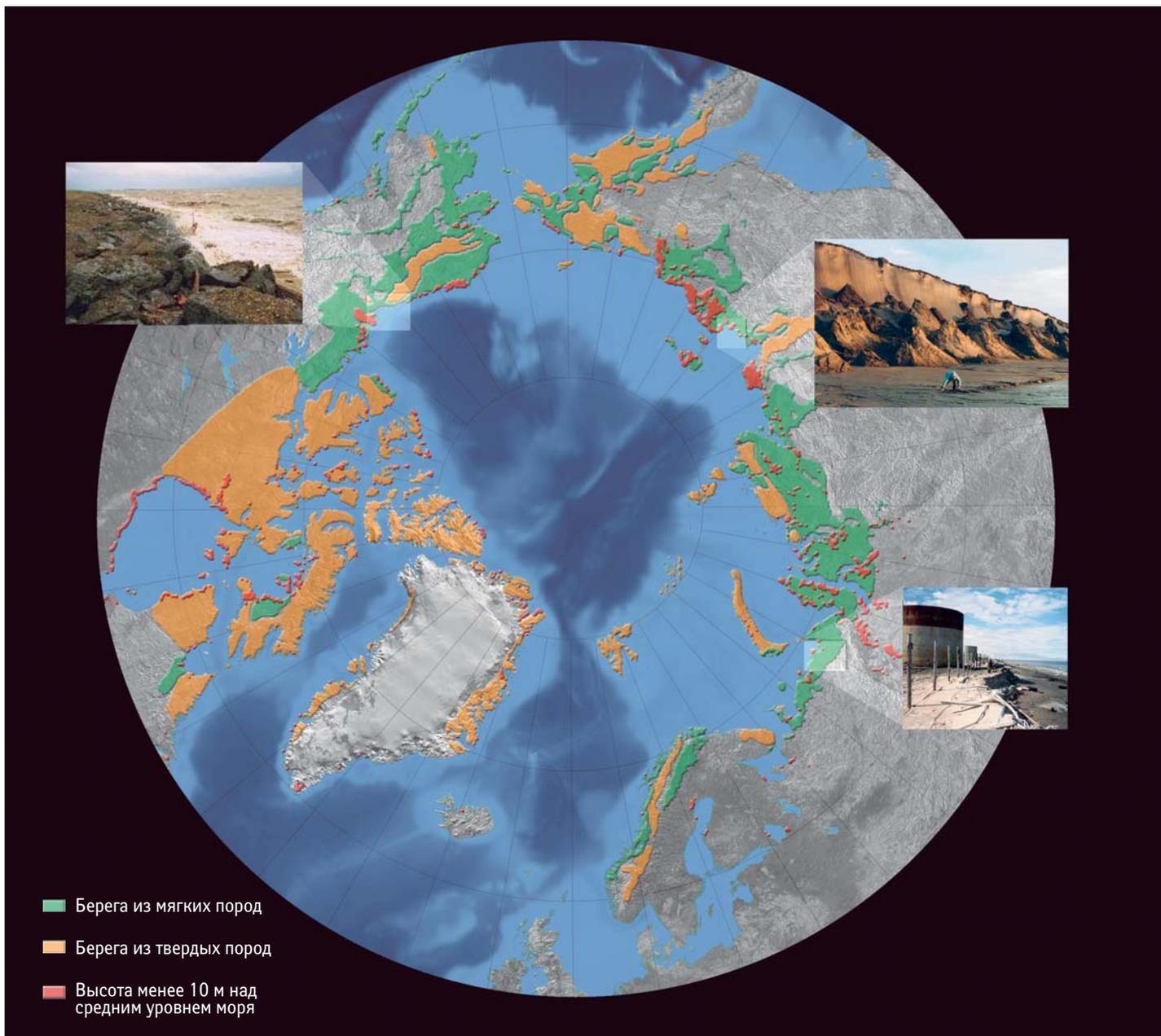


Рост температуры изменяет береговую линию Арктики, и еще более серьезные изменения, согласно оценкам, произойдут в этом столетии в результате сокращения морского льда, таяния вечной мерзлоты и повышения уровня моря. Более тонкий морской лед на меньшей площади приводит к увеличению пространств открытой воды, что создает условия для более сильной генерации волн ветрами, и, таким образом, способствует развитию более интенсивной волновой эрозии всего арктического побережья. Рост уровня моря и таяние прибрежной вечной мерзлоты усугубляют эту проблему. В некоторых районах на разрушаемой эрозией береговой линии происходит вмержание обломочных осадочных пород в лед, образуются огромные блоки льда, переносящие осадочные породы на расстояния более 100 километров. Эти ледяные глыбы с обломочным материалом создают опасность для судов и еще больше разрушают береговую линию, когда их тащит ветрами вдоль берега. Более высокие волны будут создавать еще больший потенциал для этого вида эрозии.

Районы прибрежной Арктики, подверженные воздействию эрозии

“Некоторые наши поселения смывает в океан на наших глазах вследствие сокращения многослойного льда, что позволяет очень сильным штормовым волнам накатываться на берег”.

Дуэйн Смит
Циркумполярная конференция инуитов, Канада



Будущее коренных народов	Криосфера и гидрология	Инфраструктура
3	6	16

в прибрежной зоне, столкнутся с растущим воздействием штормов

Повышение уровня моря, очень вероятно, приведет к затоплению болот и прибрежных низменностей, к ускорению береговой эрозии, обострит угрозу прибрежных наводнений и приведет к нагону морской воды в заливы, реки и поступление ее в грунтовые воды не только в Арктике, но также и во всем мире. Повышение уровня моря в каждом отдельном районе зависит от того, насколько расширятся границы океана, а также от того, поднимается или опускается береговая линия в данном районе вследствие воздействия сил, влияющих на земную кору (например, поднятие поверхности после последнего оледенения). Для арктических берегов характерна большая изменчивость этих процессов, хотя прибрежные низменности Арктики, в целом, не поднимаются, что делает их более уязвимыми к неблагоприятным воздействиям роста уровня моря. Более высокий уровень моря в устьях рек и заливов будет способствовать проникновению соленой воды вглубь материка. Мощные циклоны приведут к усилению дождей в прибрежных районах, что вызовет усиление эрозии вследствие излишнего обводнения и роста количества влекомых осадочных пород в прибрежных водах.

Прибрежные области в зоне вечной мерзлоты являются особенно уязвимыми для эрозии, так как лед под морским дном и береговой линией тает от контакта с более теплым воздухом и водой. Хотя данных специального мониторинга этих процессов очень мало, в целом предполагается, что ожидаемое увеличение температуры воздуха и воды, сокращение морского льда и увеличение высоты и повторяемости штормовых нагонов будут оказывать дестабилизирующий эффект на прибрежную вечную мерзлоту, способствуя возрастанию эрозии. Следовательно, низколежащие, насыщенные льдом берега в районах вечной мерзлоты будут наиболее уязвимы к эрозии, вызываемой волнами. Одним из последствий этой эрозии является вынос большего количества осадочных пород в прибрежные воды, что окажет неблагоприятное воздействие на морские экосистемы. Более интенсивное разрушение вечной мерзлоты в прибрежных районах может также привести к значительным выбросам углекислого газа и метана. Проблема береговой эрозии будет возрастать для некоторых портов, танкерных терминалов и других промышленных объектов, также как и для прибрежных поселений. Некоторые города и промышленные объекты терпят серьезные убытки, а некоторые стоят перед фактом их переноса на новое место, так как потепление уже начало наносить тяжелый урон береговой линии Арктики.

В поселении на Аляске в лагуне Нельсона жители построили мощные кирпичные стены вдоль берега только для того, чтобы увидеть, как те разрушаются все более жестокими прибрежными штормами. Эти кирпичные стены были предназначены для укрепления берегового льда, который, в свою очередь, послужил бы основным буфером для защиты от воздействия зимних штормовых волн. С потеплением в зимнее время буфер, создаваемый прибрежным льдом, был утерян, дав возможность волнам с полной силой обрушиваться на стену и поселение. Трубопровод, по которому в поселок поставляется питьевая вода, также пострадал, когда штормовые волны разрушили почвенный покров и пробили в нем брешь.

Проблема береговой эрозии будет возрастать для некоторых портов, танкерных терминалов и других промышленных объектов, также как и для прибрежных поселений.



Ключевой вывод №5

Степень уязвимости береговой линии к эрозии зависит от уровня моря, свойств берегового материала и факторов окружающей среды, таких как тектонические силы и волновая деятельность. Арктические берега, сложенные из мягких пород (зеленый цвет), содержащие различные количества внутрипочвенного льда, являются наиболее восприимчивыми к эрозии по сравнению с берегами, состоящими из твердых горных пород (коричневый цвет). Примеры эрозии берегов показаны на приведенных фотографиях (берега Печорского моря, моря Лаптевых и моря Бофорта). Тектонические силы вызывают подъемы суши в некоторых районах, включая Канадский архипелаг, Гренландию и Норвегию, и опускания в других районах, таких как побережье моря Бофорта и береговая линия Сибири. Районы (красный цвет), высота которых меньше 10 метров над уровнем моря, являются особенно уязвимыми.



5 Многие сообщества и объекты хозяйственной деятельности, расположенные



“Я ушла в школу по твердой земле, а когда я вернулась, моего дома уже не было. Его перенесли на другой конец поселка, иначе он рухнул бы вниз”.

Леона Гуджоп
Шишмарев, Аляска

Шишмарев на Аляске перед лицом эвакуации

Поселок Шишмарев, расположенный на острове вблизи побережья северной Аляски и основанный 4000 лет назад, сейчас стоит перед лицом эвакуации. Рост температуры привел к сокращению морского льда и таянию вечной мерзлоты вдоль побережья. Меньшее количество морского льда позволяет более высоким штормовым нагонам достигать берега, а тающая вечная мерзлота делает береговую линию более уязвимой к эрозии, подмывающей и разрушающей дома, системы водоснабжения и другие объекты инфраструктуры.

Проблема эрозии береговой линии в Шишмареве в последние годы становится все более серьезной. Более дюжины домов уже пришлось перенести дальше от моря. 600 жителей были свидетелями, как один конец их поселка исчез, когда 15 метров суши было “съедено” за ночь во время одного шторма. Отсутствие морского льда также лишает жителей возможности передвижения на материк для охоты на американского лося и карибу, что они обычно делают в начале ноября. Сегодня в узком заливе осенью наблюдается открытая вода.

Старейший житель поселка Клиффорд Вейоуанна говорит: “Течения изменились, ледовые условия изменились, и сроки замерзания Чукотского моря тоже изменились. Если раньше бывало, что ледостав происходил в конце октября, то сейчас вода не замерзает до Рождества. В нормальных условиях толщина морского льда должна быть четыре фута (1,2 м). Я вышел, а лед был толщиной только в один фут (0,3 м)”.

За последние 40 лет по оценкам жителей поселка они потеряли сотни квадратных метров суши. Роберт Иватунгук, координатор программы наблюдения за эрозией в поселке, объясняет, что отступление морского льда делает поселок более уязвимым для штормов. “Шторма случаются чаще, ветра становятся сильнее, вода поднимается выше, и это очевидно для всех в поселке. Если волны достигнут 12–14 футов (~ 4 метра), это место может быть сметено в течение нескольких часов. Мы находимся в состоянии паники от того, что мы теряем сколько земли. Если наш аэропорт начнет затапливать, то начнется наша эвакуация самолетами”.



Криосфера и гидрология	Здоровье человека	Инфраструктура
6	15	16

Сильная эрозия в Туктояктук, Канада

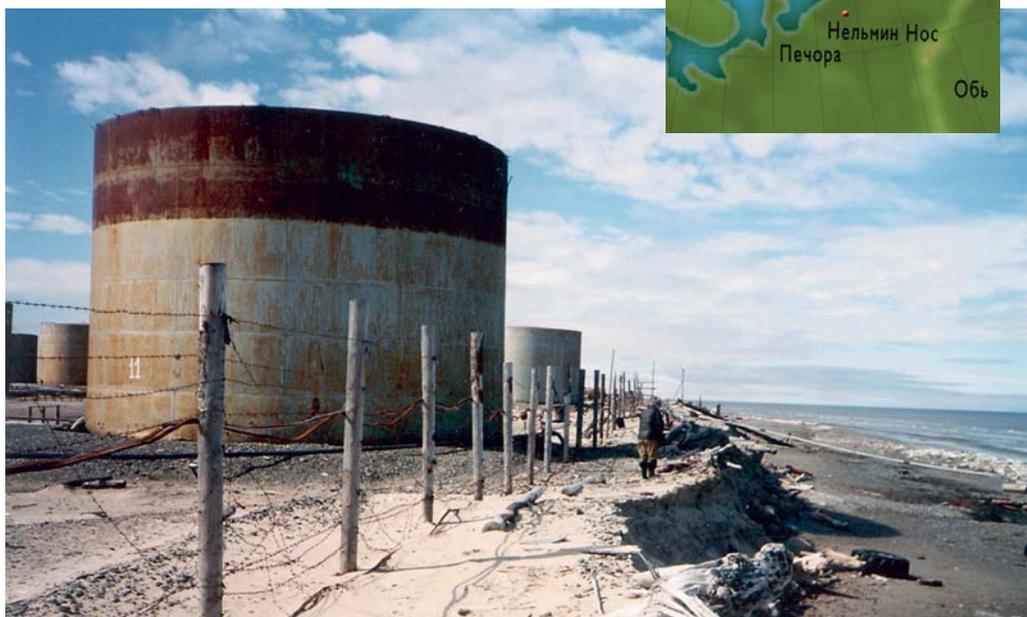
Туктояктук является основным портом в западной Канадской Арктике и единственным постоянным поселением на низком берегу моря Бофорта. Положение Туктояктука делает его в высшей степени уязвимым для усиливающейся береговой эрозии из-за сокращения площади и периода существования морского льда на фоне ускоренного таяния вечной мерзлоты и роста уровня моря. Полуостров Туктояктук характеризуется песчаными косами, барами и цепочками озер, образованными вследствие провалов грунта, вызванных таянием вечной мерзлоты ("термокарстовые" озера). Эрозия уже стала серьезной проблемой как для поселка, так и для территории вокруг него, угрожая культурным и археологическим памятникам и заставив покинуть помещение начальной школы, жилые дома и другие здания. Обычные береговые защитные сооружения были быстро разрушены во время штормовых нагонов с сопутствующими им волнами.

Поскольку потепление продолжается и скорость роста уровня моря возрастает, то в число ожидаемых в будущем последствий следует включать дальнейшую угрозу разрушения береговой линии материка, эрозию островов, более частые затопления низко лежащих участков и образование пресноводных термокарстовых озер с их последующим преобразованием в солоноватые или соленые лагуны. Высокая скорость эрозии крутых берегов в настоящее время, согласно оценкам, еще сильнее возрастет из-за более высокого уровня моря, усиления таяния вечной мерзлоты и роста вероятности сильных штормов во время увеличивающегося сезона открытой воды. Попытки сдержать эрозию в Туктояктук становятся все более дорогими, и береговая линия в этом районе продолжает разрушаться. Это место может стать совсем необитаемым.



Эрозия угрожает нефтехранилищам в России

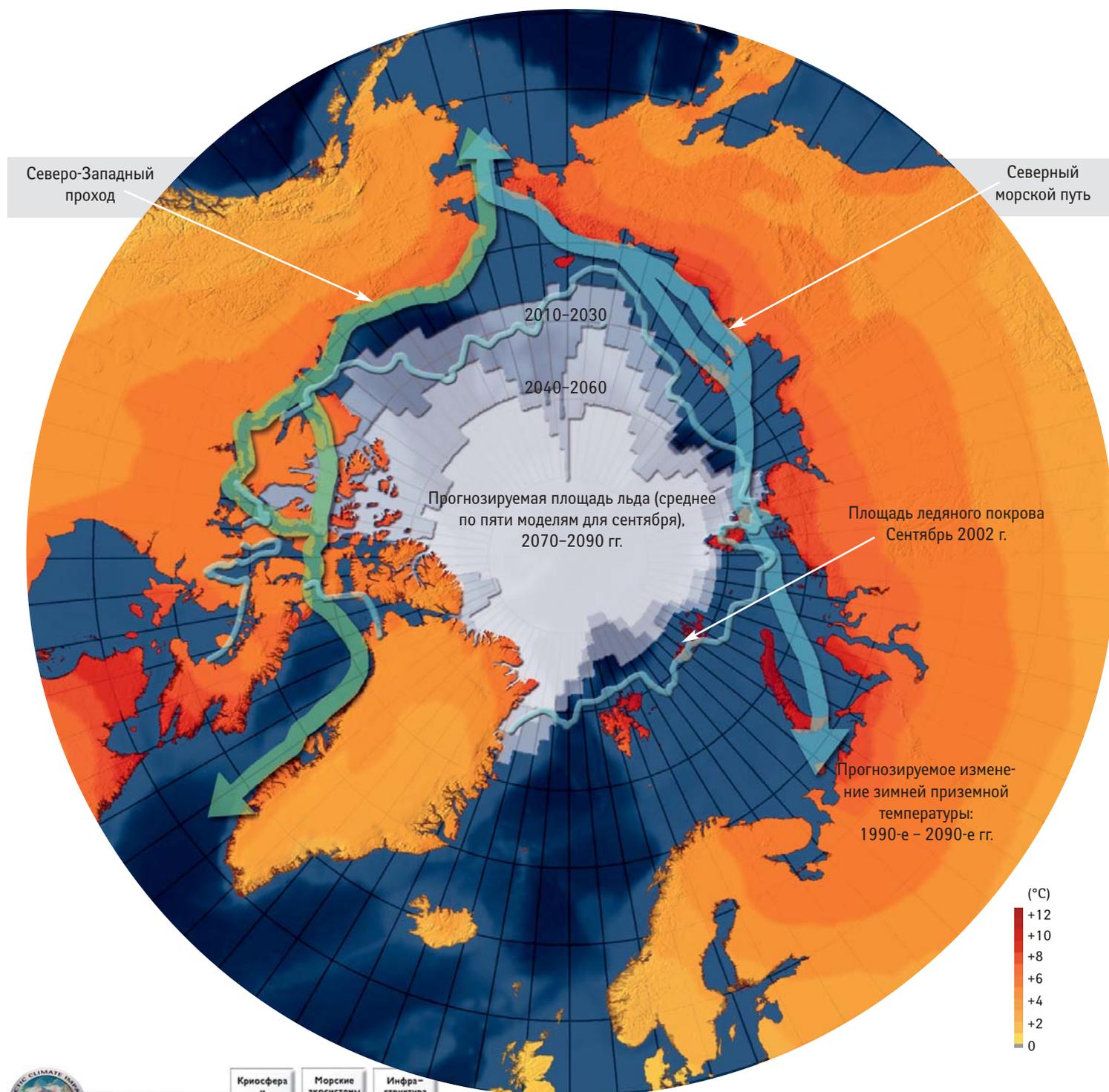
Нефтехранилища в Варандее на Печорском море были построены на барьерном острове. Повреждения, нанесенные дюнам и берегу при строительстве этих объектов и их использовании, увеличили естественную скорость эрозии береговой линии. Береговая линия Печорского моря считается относительно стабильной, за исключением мест, подверженных деятельности человека. Данное место было затронуто хозяйственной деятельностью и стало более уязвимым для разрушений от штормовых нагонов и сопровождающих их волн. Это станет еще более острой проблемой с дальнейшим потеплением климата. Как и в других районах, рассмотренных здесь, сокращение площади морского льда, таяние береговой вечной мерзлоты и растущий уровень моря, согласно оценкам, усугубят проблему эрозии. Это является примером совместных воздействий изменения климата и нарушений, обусловленных человеческой деятельностью. Районы, уже затронутые деятельностью человека, становятся часто более уязвимыми для воздействий изменения климата.



6 Очень вероятно, что сокращение морского льда приведет к росту



Наблюдения за последние 50 лет показывают сокращение площади морского льда во все сезоны, с наиболее существенным уменьшением в летний сезон. Последние исследования оценивают сокращение среднегодовой площади морского льда для всей Арктики примерно на 5–10% и уменьшение средней толщины льда примерно на 10–15% за последние несколько десятилетий. Локаторные зондирования льда с подводных лодок в центральной части Северного Ледовитого океана показали уменьшение толщины льда в этом районе на 40%. Все эти тренды показывают, что в Северном Ледовитом океане наблюдается увеличение сезонов с меньшей площадью и меньшей толщиной морского льда, что означает повышение доступности для судоходства окраинных морей бассейна Северного Ледовитого океана (с учетом значительной пространственной неоднородности).



Криосфера и гидрология	Морские экосистемы	Инфраструктура
6	9	16

Климатические модели прогнозируют ускорение этих процессов при все более продолжительных периодах интенсивного таяния в весенние и осенние сезоны. Модельные расчеты показывают, что летом морской лед будет отступать в Арктике дальше и дальше от большинства участков суши, открывая новые маршруты для судоходства и продлевая период, в течение которого судоходство возможно.

Сезон навигации часто определяется как количество дней в году, когда есть условия для навигации, т.е. при сплоченности морского льда, в целом, менее 50%. Сезон навигации для Северного морского пути, согласно оценкам, возрастет от 20–30 дней в год в настоящее время до 90–100 дней к 2080 году. Для судов ледового класса, используемых в морях со сплоченностью льда до 75%, навигация будет возможна примерно 150 дней в году к 2080 г. Открытие маршрутов для судоходства и продление сезона навигации может иметь большое значение как для перевозок, так и для доступа к природным ресурсам.



Северный морской путь

Северный морской путь (СМП) — российское название для сезонно покрывающегося льдом морского судоходного пути через север Евразии от Новой Земли на западе до Берингова моря на востоке. СМП находится под управлением Министерства транспорта России, он был открыт для движения по морю для всех стран с 1991 года. Для трансарктических переходов СМП дает возможность экономить до 40% расстояния при переходе от северной Европы до северо-восточной Азии и северо-западного побережья Северной Америки по сравнению с южными маршрутами через Суэцкий или Панамский каналы.

СМП также предоставляет морской доступ к районам российской Арктики для судов идущих вдоль северной Европы и в восточном направлении в Карское море и возвращающихся в западном направлении в Европу или Северную Америку. Региональный доступ со стороны Тихого океана по СМП возможен, если суда идут через Берингов пролив в порты моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря и возвращаются в восточном направлении в Азию с грузом. С 1979 года круглогодичная навигация в западном регионе СМП поддерживается российскими ледоколами, обеспечивающими проход через Карские ворота и по Карскому морю к Енисею.

В Российской Арктике находятся значительные запасы нефти, природного газа, древесины, меди, никеля и других ресурсов, которые лучше всего вывозить по морю. Региональное, так же как и трансарктическое судоходство по СМП, очень вероятно, получит выгоды от продолжающегося сокращения морского льда и удлинения сезона навигации.

Спутниковое изображение сплоченности морского льда 16 сентября 2002 года представляет собой хорошую иллюстрацию доступа по морю вокруг Арктического бассейна. Такой низкий летний минимум сплоченности льда приводит к образованию обширных областей открытой воды на большей части СМП. Чем дальше на север отступает кромка льда, тем дальше на север могут заходить суда по свободной воде в трансарктических переходах, тем самым избегая мелководья шельфа и узких проливов Российской Арктики.

Сезон навигации по Северному морскому пути прогноз для 2000–2100 гг.

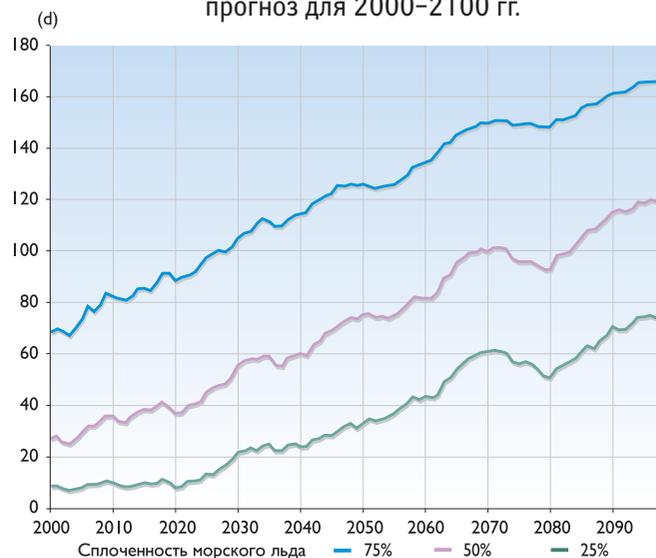
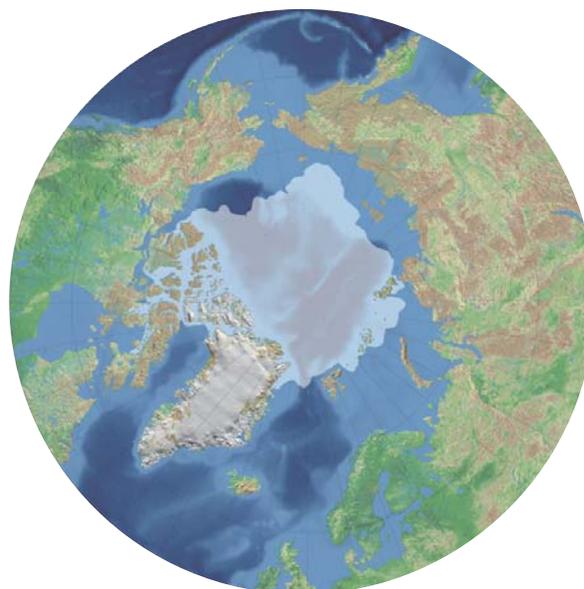


График показывает изменение числа дней сезона навигации по Северному морскому пути как средний результат расчетов по пяти моделям, используемым АСИА

Наблюдаемая площадь морского льда 16 сентября 2002 г.





Потребуется создание новых и пересмотр прежних национальных и международных правил, предназначенных для обеспечения безопасности на море и для защиты окружающей среды.



Суверенитет, охрана и безопасность

Сокращение арктического морского льда открывает исторически закрытые проходы, поэтому, вероятно, встанут вопросы о суверенитете над маршрутами судоходства и ресурсами морского дна. Могут быть подняты и вопросы безопасности. Одним из следствий ожидаемого увеличения доступности морских транспортных перевозок и развития прибрежной зоны станет то, что потребуются создание новых и пересмотр прежних национальных и международных правил, предназначенных для обеспечения безопасности на море и для защиты окружающей среды. Другим возможным следствием растущей доступности будет возникновение потенциальных конфликтов между конкурирующими пользователями арктических водных путей и прибрежных морей, например, на Северном морском пути и в Северо-Западном проходе. Промысловое рыболовство, мореплавание, охота коренных народов на морских обитателей, туризм и судоходство конкурируют за использование узких проливов на этих водных путях, которые также выбирают для миграций морские млекопитающие.

С ростом доступности морских путей в окраинных арктических морях — для судоходства, развития прибрежной зоны, рыболовства и других нужд — правительства и региональные администрации будут призваны решать вопросы по увеличению объема услуг, таких как ледокольная поддержка, совершенствование ледовых прогнозов и технологий создания ледовых карт, совершенствование служб спасения при чрезвычайных ситуациях и достижение прогресса в технологии очищения льда от нефти. Морской лед при уменьшении толщины и сокращении площади, вероятно, станет более динамичным во многих прибрежных регионах, где прежде существовали припай и относительно стабильные условия. Для обслуживания конкурирующих пользователей морских путей в освобождающихся ото льда или частично покрытых льдом районах потребуется присутствие наблюдателей и служб регулирующего надзора.

Возрастающий доступ в Северный Ледовитый океан потребует, чтобы суда, предназначенные для прохода через регион, строились бы в соответствии с более высокими инженерными стандартами по сравнению с судами, используемыми в открытом океане. Международные и внутренние правила, предназначенные для повышения морской безопасности и защиты окружающей среды в арктических водах, потребуют, чтобы каждое морское судно обладало высокими ледовыми качествами и могло проводить операции во льду в любой точке плавания. Такие суда будут иметь высокую стоимость конструирования, эксплуатации и обслуживания.

Изменения морского льда могут сделать судоходство более проблематичным

Не все согласны с тем, что сокращение морского льда, по крайней мере в начале 21-го века, будет обязательно благом для судоходства, как это принято считать. Последние изменения морского льда фактически сделали условия судоходства по Северо-Западному проходу менее предсказуемыми. Исследования, проведенные канадской ледовой службой, показывают, что ледовые условия в Канадской Арктике в течение последних трех десятилетий характеризовались высокой межгодовой изменчивостью. Изменчивость имела место, несмотря на тот факт, что с 1968 — 1969 гг. весь регион испытывал повсеместное сокращение сплоченности морского льда в сентябре. Например, в восточной части Канадской Арктики в отдельные годы — 1972, 1978, 1993 и 1996 гг. — площадь морского льда была в два раза больше по сравнению с первым или вторым последующими годами. Значительная межгодовая изменчивость ледовых условий создает большие трудности для планирования регулярных морских перевозок по Северо-Западному проходу.

Результаты работ канадского института океанических исследований также подтверждают, что количество многолетнего морского льда, перемещающегося в Северо-Западный проход, контролируется заторами или "ледовыми мостами" в северных каналах и проливах

Канадского Арктического архипелага. При более теплом арктическом климате с более высокой температурой и более длинным сезоном таяния эти мосты, вероятно, будут быстрее разрушаться (и, вероятно, иметь более короткий период для восстановления каждую зиму), и движение льда через каналы и проливы может стать более частым явлением. Большое количество многолетнего льда и потенциально значительно больше айсбергов могут, таким образом, попадать на морские пути Северо-западного прохода, создавая дополнительную опасность для навигации. Следовательно, несмотря на повсеместное отступление морского льда по всему Арктическому бассейну, ясно, что необычная география Канадского Арктического архипелага создает исключительно сложные ледовые условия и высокую степень изменчивости на десятилетия вперед.

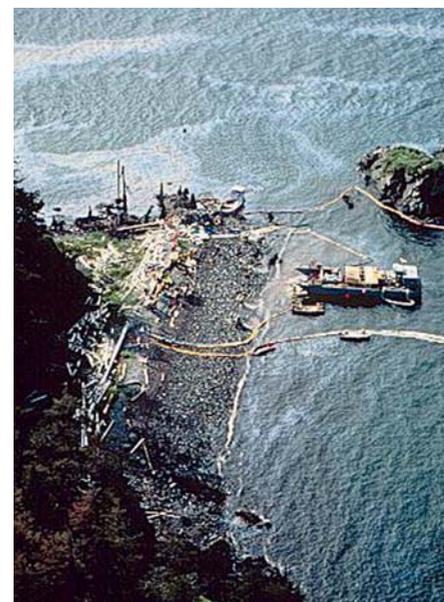
Разливы нефти: пример рисков, которые сопутствуют увеличению доступности

Наряду с ростом доступности судоходных маршрутов и ресурсов возрастает риск ущерба окружающей среде вследствие этих видов деятельности. Одним очевидным следствием являются разливы нефти и другие промышленные катастрофы. Последнее исследование подтверждает, что эффекты разлива нефти в холодных океанических условиях высоких широт сказываются гораздо дольше и являются более тяжелыми, чем предполагалось ранее.

В 1989 г. нефтяной танкер Эксон Вальдез, маневрируя в фарватере, чтобы избежать контакта с ледяными полями, налетел на подводную скалу. При этом вылилось 42 миллиона литров (11 миллионов галлонов) сырой нефти в пролив Принца Вильяма на Аляске. Этот разлив стал самым сильным в водах США, послужив причиной смерти, по крайней мере, 250 тысяч морских птиц и тысяч морских млекопитающих. Он привел к закрытию районов промыслового рыболовства и районов, традиционно используемых для охоты. Специалисты знали, что немедленные последствия будут катастрофическими, но многие полагали, что окружающая среда восстановится, как только нефтяные пятна исчезнут под действием ветра. Однако, они обнаружили, что морская экосистема испытывала негативные последствия в течение многих лет и продолжает их испытывать, так как даже маленькие оставшиеся пятна нефти уменьшают способность к выживанию, снижают репродуктивность и задерживают рост. Последствия разлива вызвали комплекс проблем для рыбы, морских птиц и морских млекопитающих.

Последние исследования показали, что нефть танкера Вальдез летом 2003 г. все еще присутствовала на берегах пролива Принца Вильяма. "Нефть сочится сквозь землю", — сказал Стэнли Рис из лаборатории национальной службы морского рыболовства г. Юно на Аляске, возглавлявший группу, которая в 2003 г. отрыла около 1000 ям на побережье пролива. "В них нефть похожа на ту, которая была две или три недели после разлива. Морские выдры и другие животные, ныряющие за пищей, подвержены нефтяному воздействию и ее болезнетворным эффектам", — сказал Рис. Исследования морских выдр, уток-каменушек, лосося и шельфовой рыбы подтверждают, что нефтяные пятна, которые продолжают присутствовать в береговой зоне, содержат достаточное количество углеводородов, чтобы создать хронические проблемы, которые будут сказываться у некоторых видов в течение многих лет.

Эксперты говорят, что стратегия борьбы с разливами в Арктике должна представлять собой комплекс предупредительных мер. Новые инструкции для судов, прибрежных сооружений, портовых объектов и других видов деятельности в береговой зоне должны быть составлены так, чтобы снизить риск разливов путем повышения качества конструкций и выполнения операционных процедур. Тем не менее, разливы ожидаются, и действия по устранению их последствий в Арктике будут более сложными. Для ликвидации аварий в водах с мощным ледовым покровом потребуется гораздо больше усилий, чем в проливе Принца Вильяма или открытых водах, особенно учитывая тот факт, что эффективные стратегии реагирования еще только должны быть разработаны.



7 Оттаивание грунта приведет к разрушению транспортных путей, строений



Сухопутный транспорт

В отличие от большинства районов мира в Арктике передвижение по суше, в общем случае, является более доступным зимой, когда тундра замерзает и появляется возможность передвигаться по зимним дорогам и ледяным мостам. Летом, когда верхний слой вечной мерзлоты тает, и местность становится болотистой, перемещение по земле может быть затруднено. Многие виды промышленной деятельности зависят от замерзания поверхности грунта, и многие северные сообщества используют "зимники" для перевозки продуктов и других товаров. Повышение температуры уже привело к сокращению сезона, в течение которого можно использовать "зимники", и к созданию проблемных ситуаций на многих маршрутах. Согласно прогнозам, эти проблемы будут расти, так как температура продолжает повышаться. Деформация дорог и уменьшение прочности вследствие таяния являются основными факторами, воздействующими на качество дорог. Маршруты перевозок, вероятно, будут особенно подвержены этим эффектам в условиях изменяющегося климата. Случаи грязевых селей и каменных оползней и лавин также связаны с изменениями погодных условий (такими, как увеличение числа случаев ливней), которые, согласно прогнозам, будут сопровождать потепление.

Сокращение сезона зимних дорог

В январе 2003 г. создание зимней дороги в Северо-западных территориях Канады сильно отставало от расписания. Лес Шоу, заведующий перевозками для региона Форты Симпсона, говорил, что теплые погодные условия и нехватка снега задержали сооружение "зимника" и ледяных мостов на несколько недель. Ледяной мост через реку МакКензи в Форте Провиденция явился тому хорошим примером. "Два последних года ледообразование на реке у нас происходило между Рождеством и Новым годом, и это было действительно странно. Обычно это происходит к началу декабря", - сказал Шоу. Это вызывает существенные проблемы для шахтеров на этой территории, а также для нефтяной и газовой промышленности, которые зависят от зимних дорог для подвоза сотен тонн запасов на весь год.

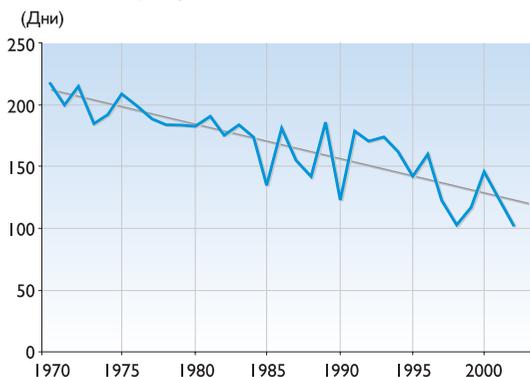


Воздействия таяния на нефтяную, газовую и лесную промышленность

Вследствие потепления число дней в году, когда возможны перемещения по тундре, согласно стандартам департамента природных ресурсов Аляски, упало с более чем двухсот до, примерно, ста за последние 30 лет, что привело к сокращению на 50% числа дней, когда может использоваться оборудование для разработки месторождений и добычи нефти и газа. Эти стандарты, разработанные для защиты хрупкой природы тундры от ущерба, в настоящее время пересматриваются и могут быть смягчены, что увеличит риск потенциального повреждения тундры. Лесная промышленность является другим видом деятельности, который требует присутствия замерзшего грунта и рек. Высокие температуры приводят к более тонкому льду на реках и увеличению периода, в течение которого грунт оттаивает. Это вызывает сокращение периода, в течение которого древесину можно перевозить из лесов на лесопильные заводы, а также к росту проблем, связанных с транспортировкой леса.

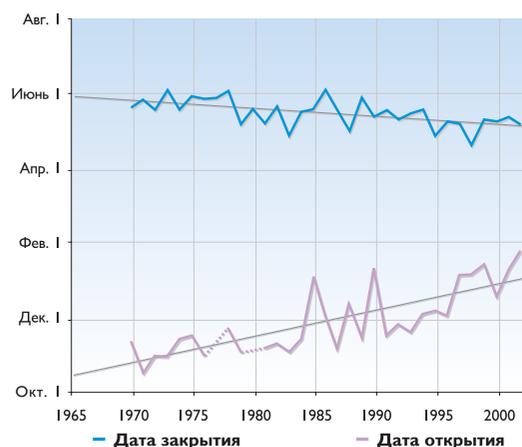
Разрушение вечной мерзлоты

Число дней, когда возможны поездки по тундре Аляски (1970–2002 гг.)



Число дней, когда, согласно стандартам департамента природных ресурсов Аляски, разрешена деятельность по разведке нефти в тундре, сократилось наполовину за последние 30 лет вследствие потепления климата. Стандарты основываются на показателях плотности почвы и снега в тундре и разработаны для защиты тундры от повреждений.

Даты начала и конца перевозок по тундре на Северном склоне Аляски



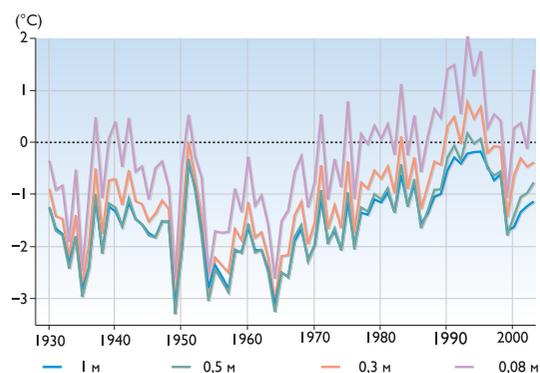
Число дней, когда возможны перевозки по тундре Аляски для добычи нефти, уменьшилось за последние десятилетия, так как даты начала перевозок наступают позднее, а даты конца - раньше.



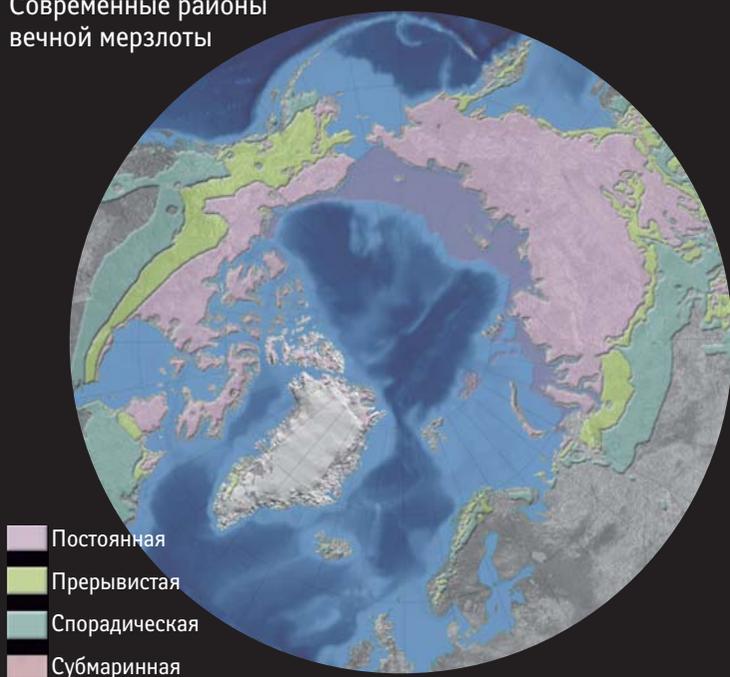
Криосфера и гидрология	Тундра и полярные пустыни	Инфраструктура
6	7	16

Температура воздуха, снежный покров и растительность — все, на что оказывает воздействие изменение климата, влияют на температуру замерзшего грунта и на глубину сезонного протаивания. Температура вечной мерзлоты на большей части субарктических территорий выросла на величину от нескольких десятых градуса до 2°C за последние несколько десятилетий, при этом глубина активного слоя выросла во многих районах. На протяжении следующих 100 лет эти изменения, по прогнозам, будут продолжаться, и их скорость возрастет. Разрушение вечной мерзлоты, согласно оценкам, будет наблюдаться на 10–20% современной территории, занятой вечной мерзлотой, а южная граница зоны вечной мерзлоты, как прогнозируется, сместится на север на несколько сот километров.

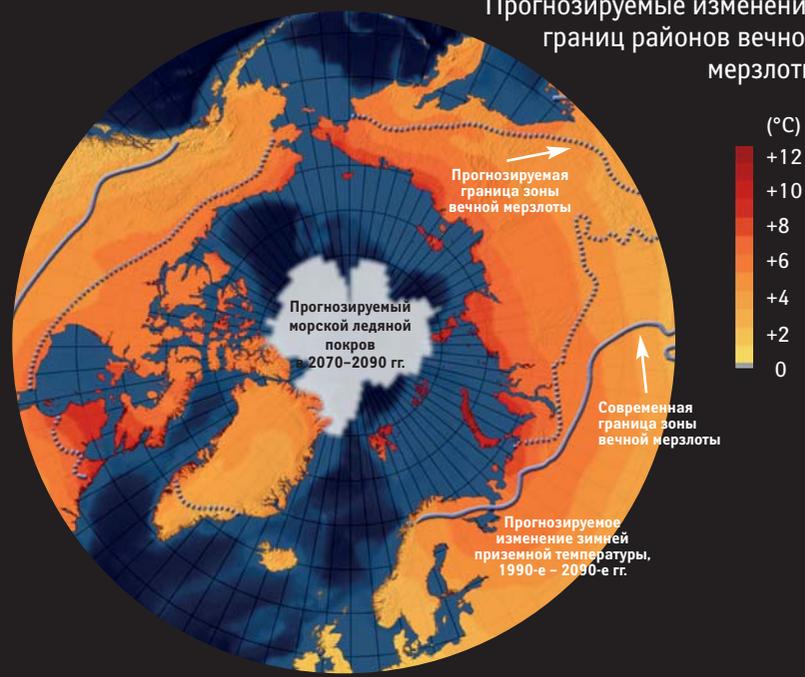
Средняя годовая температура почвы
Фэрбенкс, Бонанза Крик, 1930–2003 гг.



Современные районы вечной мерзлоты



Прогнозируемые изменения границ районов вечной мерзлоты



Что такое вечная мерзлота

Вечная мерзлота — это почва, скальный грунт или осадочные породы, температура которых не поднимается выше 0°C в течение двух и более последующих лет. Вечная мерзлота залегает под большей частью поверхности Арктики, толщина ее слоя изменяется от нескольких метров до нескольких сотен метров.

Зонами непрерывной вечной мерзлоты называются районы, где вечная мерзлота занимает всю территорию, и толщина слоя вечной мерзлоты достигает 1500 метров, например, районы Сибири.

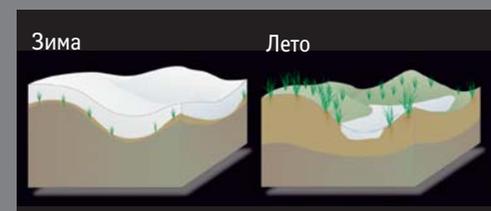
Зонами спорадической (островной) и прерывистой вечной мерзлоты называют районы, где вечная мерзлота занимает от 10 до 90% территории, и толщина слоя может составлять только несколько метров.

Активным слоем называют верхний слой вечной мерзлоты, который оттаивает каждый год в теплый сезон и снова замерзает зимой.

Разрушение вечной мерзлоты означает, что некоторая часть в прошлом активного слоя перестает зимой замерзать.

Термокарстом называют районы, где поверх-

ность грунта оседает и проваливается вследствие оттаивания вечной мерзлоты. Это может приводить к образованию новых заболоченных территорий, озер и кратеров на поверхности.



7 Оттаивание грунта приведет к разрушению транспортных путей, строений



Прогнозируемая скорость потепления и его воздействия потребуют учета при проектировании всех новых сооружений.

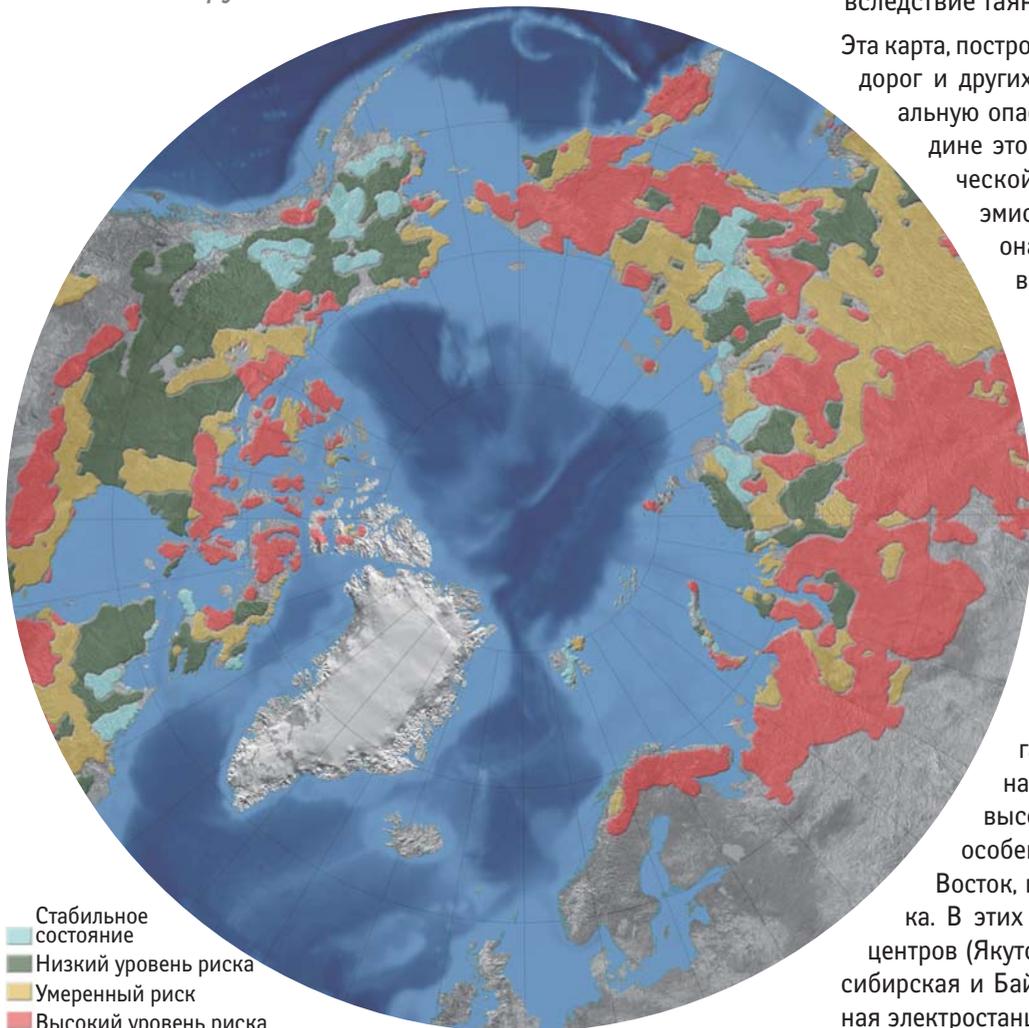
Воздействия на инфраструктуру

Ожидаемый рост температуры вечной мерзлоты и глубины активного слоя, очень вероятно, станет причиной оседания грунта и приведет к появлению значительных технических проблем для объектов инфраструктуры, таких как дороги, здания и промышленные объекты. Чтобы избежать разрушения конструкций и его последствий, вероятно, во многих случаях потребуются специальные меры. Прогнозируемая скорость потепления и его воздействия потребуют учета при проектировании всех новых сооружений, включая использование более глубоких свай, более толстой изоляции и других мер, которые увеличат затраты.

В некоторых районах сочетание потепления климата с неадекватными техническими решениями является источником проблем. Нагрузка зданий на вечную мерзлоту является важным фактором: в то время как многие тяжелые многоэтажные здания на севере России страдают от повреждений конструкций, более легкие строения в Северной Америке вызывают меньше проблем, связанных с потеплением слоя вечной мерзлоты. Опыт эксплуатации показал, что многие строения, которые были разрушены, не обслуживались должным образом. Поэтому здания, построенные на вечной мерзлоте, потребуют постоянного ремонта и обслуживания. Проблемы, которые сейчас встречаются в России, как ожидается, будут иметь место во всей Арктике, если при проектировании и обслуживании строений не будет учитываться будущее потепление.

Риски для объектов инфраструктуры к 2050 г. вследствие таяния вечной мерзлоты

Эта карта, построенная на основе показателя уровня риска для зданий, дорог и других объектов инфраструктуры, демонстрирует потенциальную опасность, вызванную таянием вечной мерзлоты к середине этого столетия по расчетам с использованием климатической модели Центра Хэдли при умеренном сценарии эмиссии В2. Потенциальные риски распределены по районам в соответствии с высокой, умеренной и низкой возможностью оседания почвы вследствие таяния вечной мерзлоты. Районы с устойчивой вечной мерзлотой, изменения в которых, вероятно, не будут происходить, также показаны. Зона высокого и умеренного риска имеет прерывистое распределение вокруг Северного Ледовитого океана, показывая высокую возможность береговой эрозии. Также внутри этих зон находятся населенные центры (Барроу, Инувик) и речные порты на побережье Арктики (Салехард, Игарка, Дудинка, Тикси). Маршруты перевозок и коридоры трубопроводов проходят через районы с высоким потенциалом риска в северо-западной части Северной Америки. Район, в котором находится комплекс по добыче природного газа Надым-Пур-Таз и связанная с ним инфраструктура на северо-западе Сибири, также попадает в категорию высокого риска. Обширные районы центральной Сибири, особенно республика Саха (Якутия) и российский Дальний Восток, показывают умеренный или высокий потенциал риска. В этих районах находится несколько крупных населенных центров (Якутск, Норильск, Воркута), обширная сеть дорог и Транссибирская и Байкало-Амурская железнодорожные магистрали. Атомная электростанция Билибино и ее линии электропередачи находятся в районе с высоким потенциалом риска на Дальнем Востоке России.



- Стабильное состояние
- Низкий уровень риска
- Умеренный риск
- Высокий уровень риска



Повреждения объектов транспортной и промышленной инфраструктуры также становятся все более обыденным явлением в результате таяния вечной мерзлоты на севере России. Многие железнодорожные ветки деформируются, взлетно-посадочные полосы в аэропортах некоторых городов находятся в чрезвычайном состоянии, разрывы нефте- и газопроводов приводят к катастрофам и разливам нефти, что выводит из использования огромные участки земли вследствие загрязнения почвы. Проблемы, которые потребуют внимания в будущем, включают в себя ослабление стен в открытых разработках торфа и воздействия загрязнений, поступающих от объектов переработки отходов в отвалах крупных шахт в грунтовые воды вследствие таяния замерзших слоев, высвобождающих излишнюю воду.

Последствия таяния вечной мерзлоты для инфраструктуры в этом столетии будут более серьезными и могут наступить скорее в зоне прерывистой вечной мерзлоты, чем в зоне постоянной вечной мерзлоты. Так как, согласно прогнозам, полное оттаивание вечной мерзлоты потребует столетий, и выгоды (например, возможность возведения более легких конструкций на полностью оттаявшем грунте) могут наступить только после этого, последствия для ближайшего периода около 100 лет будут, в основном, негативными (а именно, вызывающими разрушения и требующими больших затрат).

Повреждения инфраструктуры в Якутске (Россия) вследствие таяния вечной мерзлоты

В Якутске, российском городе, построенном на вечной мерзлоте в центральной Сибири, более 300 зданий получили повреждения вследствие оседания оттаивающего грунта. Объекты инфраструктуры, пострадавшие от проваливания грунта из-за таяния вечной мерзлоты, включают несколько больших жилых зданий, электростанцию и дорогу в Якутский аэропорт. Некоторые приписывают большую часть недавно возникших проблем города потеплению климата, хотя другие полагают, что усовершенствование конструкций и их надлежащее обслуживание могли бы предотвратить значительную часть проблем.

Исследование воздействий потепления на инфраструктуру показывает, что даже небольшой рост температуры оказывает значительное влияние на прочность зданий, и что надежность фундаментов зданий резко снижается с ростом температуры. Это может значительно сократить время службы конструкций, также как привести к возможным их повреждениям.

Так как глобальное потепление продолжается, то можно ожидать проявления пагубных воздействий на инфраструктуру во всех районах вечной мерзлоты. Многие из этих воздействий можно предупредить, предусмотрев возможность перепроектирования и переоснащения конструкций таким образом, чтобы они могли выдерживать дополнительные нагрузки в условиях изменения климата. Это, конечно, потребует затрат, но поможет избежать серьезных повреждений инфраструктуры, которые происходят в Якутске, а также повсюду в Арктике.

Наводнения и сели

Другой набор проблем для инфраструктуры Арктики, порождаемых изменением климата, включает наводнения, грязевые сели, каменные осыпи и лавины. Эти события тесно связаны со случаями ливневых осадков, возрастающим стоком рек и повышенными температурами, каждое из этих явлений, согласно прогнозам, будет наблюдаться чаще по мере дальнейшего изменения климата. С таянием вечной мерзлоты почвенные склоны становятся менее прочными, и, как ожидается, это приведет к увеличению числа случаев селей. Некоторые транспортные пути чувствительны к неблагоприятным погодным явлениям, число которых, как ожидается, возрастет, так как климат продолжает теплеть. Потребуется защита или совершенствование этих путей.



Здание, поврежденное вследствие таяния вечной мерзлоты в городе Черском (нижнее течение реки Колымы), Россия



Операционный центр Бритиш Петролеум, построенный на сваях, чтобы избежать повреждений вследствие таяния вечной мерзлоты, залив Прюдо, Аляска





Уровни воды во многих реках и озерах в Нунавуте (восточная Канадская Арктика) снизились за четыре десятилетия, при наиболее сильном падении в последнее десятилетие. Коренные жители в течение долгого времени использовали воду из этих водоемов для питья, и рыбу, обитающую в этих водах. Реки также обеспечивали доступ на лодках к местам охоты, куда сейчас попасть невозможно.

Воздействия таяния вечной мерзлоты на природные экосистемы

Существуют важные обоюдные взаимодействия между изменениями вечной мерзлоты, вызванными изменением климата, и растительностью. Таяние вечной мерзлоты оказывает воздействие на растительность, покрывающую поверхность. В то же время растительность, которая тоже испытывает на себе воздействия из-за изменения климата, играет важную роль в изоляции и укреплении вечной мерзлоты. Например, леса помогают сохранять вечную мерзлоту, так как кроны деревьев задерживают солнечное тепло, а толстый слой мха на поверхности изолирует грунт. Таким образом, можно ожидать, что прогнозируемый рост случаев лесных бедствий, таких как пожары и нашествия насекомых, приведет к дополнительному разрушению вечной мерзлоты, что усугубит процесс таяния вечной мерзлоты, происходящий как прямой отклик на рост температуры.

В некоторых северных лесах определенные виды деревьев (особенно черная ель) зависят от вечной мерзлоты с высоким содержанием льда, поскольку она укрепляет структуру почвы, в которую деревья укоренены. Таяние такого замерзшего грунта может привести к сильному наклону деревьев (иногда это явление называют "пьяным лесом") или полному их заваливанию. Таким образом, если более длинный и теплый сезон роста может способствовать росту этих деревьев, то вследствие таяния вечной мерзлоты может происходить подмыв или разрушение корневой системы из-за неравномерного оседания поверхности грунта, что приведет к падению и гибели деревьев. Те места, где поверхность грунта оседает вследствие таяния вечной мерзлоты (даже если это не приводит к падению деревьев), часто становятся самыми низкими точками ландшафта. По крайней мере, в отдельные сезоны эти участки заполняются водой, в которой стоят деревья.

При потеплении климата возможность пересыхания многих мелких рек, прудов и заболоченных участков возрастает с разрушением вечной мерзлоты. Так как вечная мерзлота тает, пруды соединяются с системой грунтовых вод. Таким образом, они, вероятно, будут осушаться, если потери воды вследствие просачивания вниз в почву и испарения будут превышать поступления воды от весеннего таяния снега и летних осадков. Расположенные пятнами арктические болота обладают особо высокой чувствительностью к деградации вечной мерзлоты, приводящей к соединению поверхностных вод с грунтовыми водами. Такие болота, расположенные вдоль южной границы зоны вечной мерзлоты (где рост температуры, наиболее вероятно, уничтожит относительно теплую зону вечной мерзлоты), подвержены наиболее высокому риску пересыхания. Коренной народ в Нунавуте (восточная часть арктической Канады) в последние годы отмечает, что пересыхание рек, переувлажненных участков и болот стало настолько значительным, что доступ к традиционным местам охоты и, в некоторых случаях, миграция рыб, нарушаются. Также существует высокий риск катастрофического пересыхания озер, лежащих на вечной мерзлоте, таких, как озера, расположенные вдоль западного арктического побережья Канады.



В других местах потепление поверхностного слоя вечной мерзлоты, расположенного над замерзшим грунтом, и вызванное этим явлением проваливание поверхности грунта, могут способствовать ускорению процесса формирования болот, прудов и дренажной сети, особенно в областях с высокой концентрацией грунтового льда. Такое таяние, однако, может также привести к значительному росту количества осадочных пород, оседающих в реках, озерах, дельтах и прибрежных морских районах, что окажет значительные воздействия на водные формы жизни в этих водоемах.

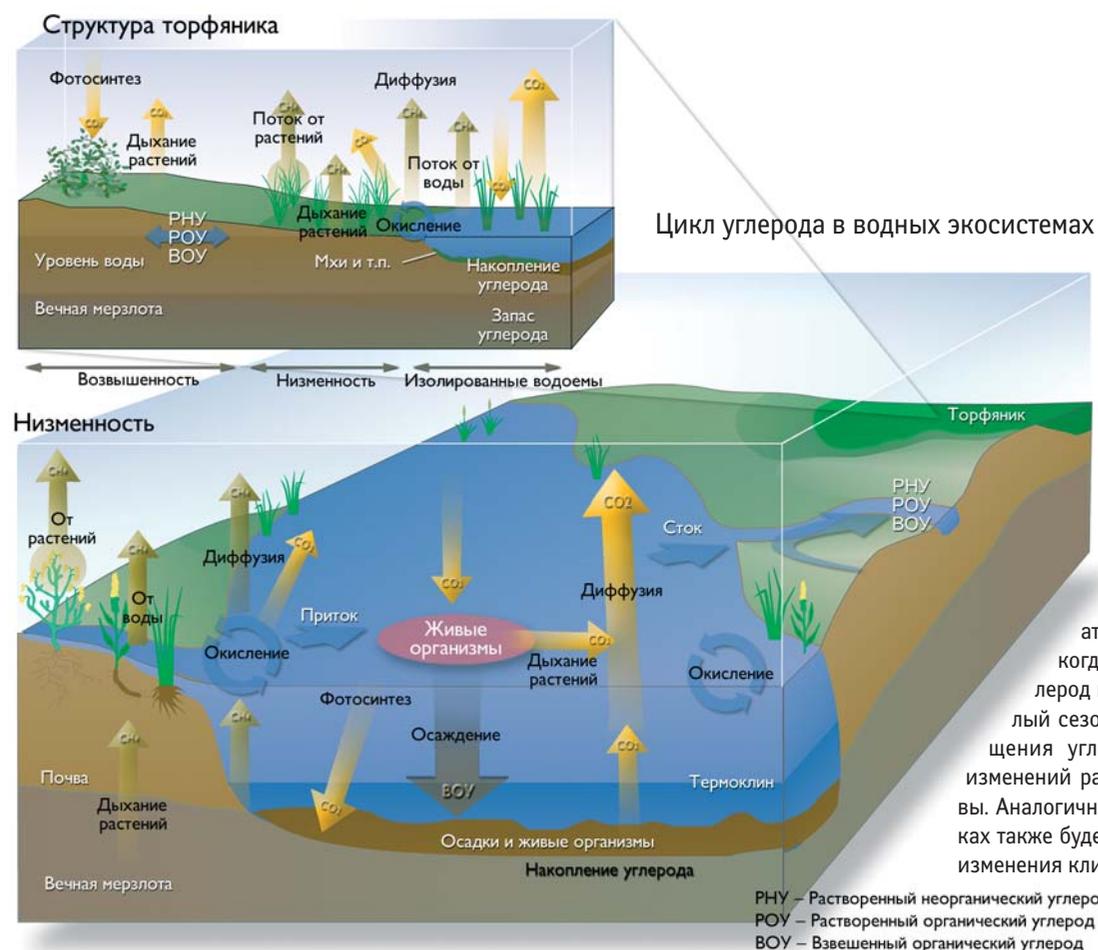
Изменения в водном балансе северных болот имеют особое значение, так как большая часть болот в зоне вечной мерзлоты представляет собой торфяные болота, которые могут поглощать или выделять углерод (в виде углекислого газа и метана) в зависимости от высоты уровня воды. В прогнозе этих изменений остается много неопределенностей. Одни исследования показывают, что увеличение температуры на 4°C приведет к уменьшению запаса воды в северных торфяниках, даже при небольшом, но устойчивом росте количества осадков, что вызовет переключение торфяников с выделения углекислого газа в атмосферу на его поглощение. Возможно, что будет наблюдаться и обратный эффект, когда потепление и осушение приведут к тому, что скорость разложения органического материала будет расти быстрее, чем скорость фотосинтеза, что обусловит увеличение эмиссии углекислого газа. Сочетание роста температуры и повышения уровня грунтовых вод может привести к росту эмиссии метана. Прогнозы, основанные на удвоении доиндустриального уровня содержания углекислого газа в атмосфере, что может произойти около середины этого века, предполагают сильный сдвиг на север (на 200–300 км) южной границы этих торфяников в западной Канаде и значительное изменение их структуры и растительности на всей территории до береговой линии.



“Стало намного меньше воды вокруг всех этих островов [в озере Бейкер]... Раньше было много воды.

Мы могли проходить по этой воде на наших лодках с подвесными моторами, но сейчас воды вокруг становится меньше и меньше... Стало намного меньше рыбы, так как нет больше прежней глубокой воды... Рыба водилась в большем изобилии и была крупнее. Сейчас вы вряд ли выловите гольца в реке Принца или в любом другом прежде рыбном месте”.

Л. Арнгнанаак
Озеро Бейкер, Канада



Упрощенная схема круговорота углерода в водных экосистемах высоких широт. Переувлажненные территории Арктики, как правило, выделяют углерод в атмосферу во время весеннего таяния и осенью, когда растения умирают. Затем они поглощают углерод из атмосферы во время роста растений в теплый сезон. Изменения процессов выделения и поглощения углерода будут, таким образом, зависеть от изменений растительности, температуры и состояния почвы. Аналогично, круговорот углерода в озерах, прудах и реках также будет зависеть от прямых и косвенных эффектов изменения климата.



Арктика является домом для большого числа коренных народов, культура и деятельность которых формировались природными условиями Арктики. На протяжении поколений эти народы благодаря тщательным наблюдениям и умелому приспособлению к окружающей среде выработали традиционные способы добычи пищи и уклады жизни. Посредством жизненного уклада, тесно связанного с окружающими условиями, эти народы развили уникальные способы наблюдений, интерпретации и реакции на воздействия изменений окружающей среды.

Наблюдения коренных жителей и их прогнозы обладают особой ценностью для понимания процессов и воздействий изменения арктического климата. Существует богатая коллекция знаний, основанная на их тщательных наблюдениях за окружающей средой и опыте взаимодействия с ней. Хранители этих знаний используют их для принятия решений и определения приоритетов. АСИА сделала попытку объединить знания коренных народов с результатами научных исследований для более полного описания изменения климата в Арктике и его последствий.



На протяжении многих поколений гибкость и приспособляемость коренных народов были ключом к адаптации этих народов к изменениям окружающей среды. Современные изменения (социальные, экономические, политические и управленческие) оказывают влияние на усиление или ограничение способности народов к адаптации. Быстрое изменение климата последних десятилетий, вместе с другими происходящими изменениями, создает новые проблемы.



По всей Арктике местные жители уже сообщают о последствиях изменения климата. На территории Нунавут в Канаде инуиты-охотники отметили уменьшение толщины морского льда, сокращение численности кольчатой нерпы в некоторых районах и появление насекомых и птиц, обычно не встречавшихся в этом районе. Инувиалуиты в западной части Канадской Арктики наблюдают увеличение случаев гроз и молний, прежде происходивших в этом регионе очень редко. Атабаски на Аляске и в Канаде свидетельствуют о существенных изменениях в погоде, растительности и структуре распределения зон обитания животных, произошедших за последние 50 лет. Оленеводы саами в Норвегии отмечают, что преобладающие ветра, используемые для навигации, становятся другими, возросла их изменчивость, что приводит к смене традиционных маршрутов. Коренные народы, обладающие навыками приспособления к широкому диапазону естественных изменений климата, отмечают, что изменения, которые происходят сейчас, являются уникальными для долгого периода накопления опыта местного населения.



При объединении знаний коренного населения всей Арктики отчетливо выявляется ряд общих тем, хотя существуют региональные и местные различия в этих наблюдениях.

- Погода становится нестабильной и менее предсказуемой с помощью традиционных методов.
- Изменяются качественные свойства снега и его характеристики.
- Зимой стало больше дождей.
- Сезонные особенности погоды изменяются.
- Уровни воды во многих озерах падают.
- В Арктике появляются виды, ранее здесь не замеченные.
- Морской лед сокращается, и его качественные характеристики и продолжительность существования изменяются.
- Штормовые нагоны приводят к усилению эрозии берегов.
- Солнце становится "сильнее, более жгучим, резким". Солнечные ожоги и странная кожная сыпь, никогда прежде здесь не встречавшиеся, становятся обычным явлением.
- Климат меняется быстрее способности населения адаптироваться.
- Изменение климата оказывает сильное воздействие на население во многих сообществах, в некоторых случаях создавая угрозу сохранению их культурных традиций.

Многие сообщества коренных народов Арктики зависят в первую очередь от даров природы и использования живых ресурсов суши и моря. Для обеспечения жизнедеятельности наиболее часто используются такие морские млекопитающие, как тюлени, моржи, белые медведи и нарвалы, белухи, финвалы, гренландские киты, карликовые полосатики; млекопитающие суши, такие как северный олень, американский лось и овцебык; рыба, такая как лосось, арктический голец, северная пикша и различные виды птиц, включая уток, гусей и тундрянок.



“Река Вирма мелеет с каждым годом. Сейчас там почти не осталось воды, и она может промерзнуть до дна. Раньше здесь было много рыбы, но сейчас она почти вся ушла. Я думаю, это происходит из-за высыхания болот и заболоченных участков”.

Василий Луков
Ловозеро, Россия





Коренные народы во всей Арктике тесно связаны с окружающей средой поскольку занимаются охотой, оленеводством, рыболовством и собирательством. Живые ресурсы Арктики не только поддерживают коренные народы в экономическом смысле и являются источником пропитания, но также обеспечивают фундаментальный базис для социальной идентификации, духовной жизни и сохранения культурных традиций. Богатая мифология, яркие устные предания, фестивали и обряды, посвященные животным, иллюстрируют социальные, экономические и духовные связи коренных народов с природной средой Арктики. Благодаря этим традициям добывание пищи для обеспечения жизнедеятельности коренных народов отличается от обычных видов охоты.

Доступ к пищевым ресурсам часто связан с возможностью перемещений в пространстве и их безопасностью. Например, изменение скорости весеннего таяния и возрастание изменчивости весенних погодных условий оказывают влияние на доступ к местам охоты и рыболовства. Когда семьи инуитов в западной части Канадской Арктики выезжают в места промысла на озера для подледного лова рыбы и охоты на гусей в мае, они добираются туда на снегоходах, оснащенных лыжами для перемещения через покрытые снегом участки или по прибрежному морскому льду и замерзшим рекам. Более теплые условия весной приводят к раннему и быстрому таянию снега и вскрытию рек, что затрудняет переезды. Доступность использования некоторых видов изменилась вследствие невозможности человека охотиться на них в изменяющихся климатических условиях. Например, сокращение летнего морского льда сильно затрудняет поиски кольчатой нерпы. Наблюдаются изменения в распространении животных, обусловленные изменениями климата, и прогнозируются еще более сильные изменения. Например, перемещение на север кромки дрейфующего льда, как ожидается, снизит доступность морских птиц как пищевого ресурса для многих арктических сообществ.



Согласно мнению коренных народов, Арктика становится зоной повышенного риска в том смысле, что морской лед является менее прочным, наблюдаются необычные погодные условия, изменяется растительный покров, и некоторые виды животных исчезают из традиционных районов охоты в определенные сезоны. Местные ландшафты суши, моря и ледовых шапок изменяются до неузнаваемости, заставляя людей чувствовать себя чужаками в их собственной стране.

Тюлени становятся недосыгаемыми для инуитов в Нунавуте, Канада

Кольчатая нерпа является наиболее важным источником пищи для инуитов, внося самый большой вклад в пищевой рацион во все сезоны. Нет других таких видов на суше или в водах Нунавута, в нужных количествах поставляющих питательные вещества, требуемые для инуитов. В последние десятилетия местные жители наблюдают, что появление детенышей кольчатой нерпы становится проблематичным, так как рост температуры привел к сокращению и уменьшению толщины морского льда. Эти изменения оказали воздействие на добычу белых медведей, являющихся другим важным источником пищи, так как кольчатые нерпы составляют основу питания белых медведей, и медведи также испытывают на себе прямое влияние наблюдаемых изменений снега и льда.



Охота и распределение этой добычи является сущностью культуры инуитов. Таким образом, сокращение численности кольчатой нерпы и белых медведей угрожает не только потребностям инуитов в пище, но и самому образу жизни. Возможное сокращение морского льда в будущем окажет негативное воздействие. Прогнозы для летнего морского льда, даваемые моделями климата, предполагают его сокращение на 50% и более на протяжении этого века, а некоторые модели прогнозируют полное исчезновение морского льда в летний сезон. Так как крайне маловероятно, чтобы кольчатые нерпы и белые медведи смогли выжить при отсутствии летнего морского льда, то воздействие на коренные сообщества, которые зависят от этих видов, вероятно, будет огромным.

Воздействия наблюдаемых изменений климата в гавани Сахса, Канада

Сообщество гавани Сахса проживает на острове Бэнкс в западной части Канадской Арктики. Воздействия изменения климата на это сообщество интенсивно исследовались в рамках проекта Наблюдений Инуитов за Изменением Климата, проводимого сообществом гавани Сахса и Международным институтом устойчивого развития. Инувиалиуты (инуиты западной части Канадской Арктики) инициировали это исследование, так как хотели задокументировать серьезные изменения, происходящие в окружающей среде, которые они наблюдают как результат изменения климата, и распространить эти сведения по всему миру. Краткий обзор некоторых из этих выводов приводится ниже.

1. Изменения в окружающей среде

- Многолетний лед больше не подходит близко к гавани Сахса в летний сезон.
- Меньшее количество морского льда летом означает, что море становится более бурным.
- Зимой открытая вода подступает ближе к материку.
- Больше количество дождей летом и осенью затрудняет переезды.
- Вечная мерзлота более не является прочной в ряде мест.
- Вследствие таяния вечной мерзлоты и опускания грунта вода озер уходит в море.
- Пористый мягкий снег (в противоположность плотному снегу) затрудняет переезды.

2. Предсказуемость состояния окружающей среды

- Стало труднее предсказывать сроки вскрытия льда на реках.
- Наступление весны стало непредсказуемым.
- Сложно предсказывать погоду и бури.
- Иногда дуют "неправильные" ветры.
- Стало больше снега, метелей и явлений белой дымки.

3. Безопасность переездов по морскому льду

- Слишком большое количество торосов зимой делает переезды опасными.

- Непредсказуемые ледовые условия на море делают поездки опасными.
- Меньшее количество многолетнего льда приводит к переездам по однолетнему льду в течение всей зимы, что более опасно.
- Меньшее покрытие льдом летом означает более сильные и опасные шторма на море.

4. Доступ к ресурсам

- Стало труднее охотиться на тюленей вследствие малого количества многолетнего льда.
- Охотники не могут уходить зимой также далеко, как раньше, из-за нехватки прочного льда.
- Стало труднее охотиться на гусей, так как весеннее таяние стало происходить очень быстро.
- Более теплые летние сезоны и большее количество дождей означают больше растительности и еды для животных.

5. Изменения зон распространения животных и условий их обитания

- Сократилось количество жира у тюленей.
- Стали встречаться виды рыбы и птиц, которых раньше не было.
- Возросло количество кровососущих насекомых; никогда прежде здесь не было комаров, а сейчас они здесь появились.
- Меньше белых медведей наблюдается осенью вследствие недостатка льда.
- Рыба "самый маленький сиг" вылавливается сейчас в большем количестве.

Живые ресурсы Арктики не только поддерживают коренные народы в экономическом смысле и являются источником пропитания, но также обеспечивают фундаментальный базис для социальной идентификации, духовной жизни и сохранения культурных традиций.



Изменение климата происходит быстрее, чем адаптация к нему коренного населения, что сильно воздействует на него. Непредсказуемая погода, снег и ледовые условия делают переезды опасными. Воздействия изменения климата на дикую природу – от северного оленя на суше до рыбы в реках, тюленей и белых медведей на морском льду – сказываются не только на образе питания коренных народов, но и на культурных традициях.

Погода становится менее устойчивой и предсказуемой.

От коренных народов Арктики мы знаем о том, что погода стала более изменчивой, непонятной и ведет себя непредсказуемо и ненормально. Опытные охотники и старейшины, предсказывавшие погоду традиционным способом, теперь не могут это сделать. Часто случаются шторма без предвестников. Неожиданно меняется направление ветра. Во многих районах растет облачность. Шторма с сильным ветром и грозами в некоторых районах стали наблюдаться чаще. Как отметили несколько старейшин, "сегодня знать погоду стало гораздо труднее". Это создает проблемы для многих видов деятельности, от охоты до вылова рыбы, от которых зависят коренные народы.

"Сейчас погода стала непредсказуемой. Прежде старейшины, бывало, предсказывали погоду и всегда правильно, но сейчас, когда они пытаются предсказать погоду, она всегда немного другая".

З. Акьярук, Иглулик, Канада, 2000 г.

"Погодные явления теперь отличаются от нормы. Были определенные устойчивые периоды года, которые формировали понятие нормы. Сейчас эти периоды сместились... Сейчас традиционный прогноз погоды не может делаться так, как прежде... Так как признаки на небе, на которые мы смотрим, сейчас ни о чем не говорят".

Хейкки Хирвасвуонио, Какслауттанен, Финляндия, 2002 г.

Характеристики снега изменяются и стало больше случаев гололеда.

Из разных мест поступает много сообщений об изменениях в снеге и льде. Изменения в ветре служат причиной уплотнения снега, из-за чего охотники и путешественники не могут строить иглу, которые до сих пор используются как временное и аварийное пристанище. Неожиданные шторма вызывают ранения и смерть, а те, кого они застают, не могут найти подходящего снега для постройки укрытия. Учабившийся гололед и рост числа циклов заморозания-таяния снижают способность северных оленей, овцебыков и других диких животных отыскивать пищу зимой, что отражается на коренных народах, зависящих от этих животных.

"Раньше слои снега были другими. Ветер не дул так сильно и не уплотнял снег настолько, как сейчас... Очень трудно строить укрытия из такого снега, так как он очень плотный до самой земли".

Т. Куакимат, озеро Бейкер, Канада, 2001 г.

"Произошли столь заметные изменения, что в 2001 г. в течение самого холодного месяца – декабря – ливни в районе Туле были так сильны, что образовался толстый слой прочного льда поверх морского льда и земли... что было очень плохо для лап наших ездовых собак".

Усаккуак Куякуитсок, Куанаак, Гренландия, 2002 г.

"Раньше бывало, что хороший заморозок высушивал лишайники, и снег укрывал их. Дожди формировали слой, который потом замерзал. Сейчас идет дождь, и поверхность замерзает влажной, что плохо для северных оленей. Это уничтожает лишайники. Лед везде, и олени не могут пробиться через него. Это означает смерть для некоторого числа оленей, так как они не могут пробиться к лишайникам".

Нила Никодемус, 86 лет, самый старый оленевод в Пурнумукка, Финляндия, 2002 г.

"Сначала идет снег, потом он тает, как летом. И это все повторяется снова. Сначала сильный снегопад, затем теплеет, потом замерзает. Зимой сейчас может идти дождь, как это было в прошлый Новый год. Раньше зимой дождей никогда не было. Дождь в середине зимы? Да такой, что исчезает снег? Да, это правда. Идет дождь, и снег тает!"

Владимир Лифов, Ловозеро, Россия, 2002 г.



Морской лед отступает, его качество и период существования изменяются с важными последствиями для охотников на морских животных

Площадь и толщина морского льда заметно сокращаются. Паковый лед отступает дальше от берега, часто он слишком тонкий, и перемещения по нему опасны. Уменьшение морского льда приводит к усилению морских штормов, становящихся опасными для охотников. Популяции морских животных, обитающих на морском льду (моржи, белые медведи и связанные со льдом тюлени), очень вероятно, в этом веке сильно сократятся и окажутся на грани вымирания.

"В давние времена лед всегда стоял целое лето. Вы могли видеть [многолетний лед] все лето. Лед двигался вперед и назад в это время года. Сейчас никакого льда нет. А должен бы быть [многолетний]. Бывало, многолетний лед приходил с западной стороны Сахса. Такого больше нет. Сейчас между островом Виктории и островом Бэнкс лежит открытая вода. Так быть не должно".

Франк Куглак, гавань Сахс, Канада, 1999 г.

"Я знаю, что сегодня тюленей нет, это может быть вследствие более раннего весеннего вскрытия льда, или потому что они уплыли на плавучих льдинах, но тюленей нет нигде".

Местный житель, 62 года, Куууак, Канада,

"Когда много льда, о шторме можно не очень беспокоиться. Выходишь в море и передвигаешься между льдин. Но несколько последних лет льда нет. Поэтому, если шторм, то нельзя выйти в море".

Энди Карпентер, гавань Сахс, Канада, 1999 г.

Сезонные особенности погоды меняются

Коренные жители Арктики сообщают об изменениях сроков, продолжительности и характера сезонов, в том числе о росте дождей осенью и о более сильной жаре летом.

"Sila (погода и климат) меняется сильно. Осень приходит довольно поздно, а весна — действительно быстро и рано. Довольно давно лето было коротким, но сейчас так больше не бывает."

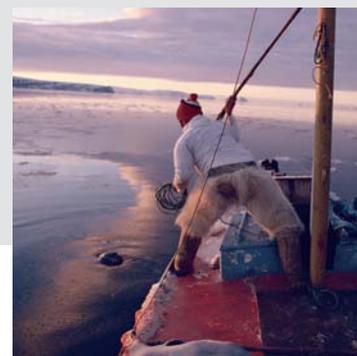
Сара Куптана, гавань Сахс, Канада, 1999 г.

"Давно, когда я был ребенком, погода была действительно хорошей. Сейчас плохая погода. Появилось много комаров. Раньше, когда следовало, было жарко, когда следовало — холодно, не так, как сейчас. [Все происходит] сейчас не тогда, когда надо, сейчас все по-другому. Август был началом периода похолодания, сейчас в августе жарко. Зима сейчас действительно короткая".

Эдит Хаогак, гавань Сахс, Канада, 2000 г.

"Погода стала хуже, и для нас это плохо. Это влияет на передвижения. Раньше постоянный лед устанавливался в октябре... Сейчас можно выйти на лед только в начале декабря. Вот так все изменилось".

Аркадий Ходзинский, Ловозеро, Россия, 2002 г.

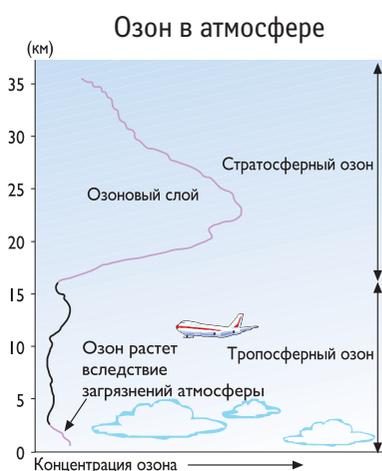


*Я снова размышляю
Мои маленькие приключения
Мои страхи
Те маленькие страхи, которые кажутся такими большими
Для всех живых существ
Мне надо было понять и постичь
И еще есть только одна великая цель
Жить, чтобы увидеть великий день, когда рассветет,
И свет, который заполнит мир*

Инуитская поэма



Озоновый слой поглощает приходящую от солнца УФ радиацию, защищая жизнь на Земле от облучения чрезмерными дозами УФ. Таким образом, уменьшение толщины озонового слоя может привести к увеличению уровней УФ на поверхности Земли.



Больше всего озона содержится в стратосфере, находящейся относительно высоко над земной поверхностью, где он защищает жизнь на Земле от чрезмерной УФ радиации. Вблизи земной поверхности увеличение концентрации озона наблюдается вследствие загрязнения атмосферы. Этот приземный озон в составе смога вызывает проблемы дыхательной системы у людей и другие отрицательные последствия. В этом отчете затрагивается проблема стратосферного озона, а не приземного озона.

Ультрафиолетовая радиация (УФ), достигающая поверхности земли, становится в Арктике все более серьезной проблемой, главным образом, из-за снижения толщины слоя стратосферного озона благодаря эмиссии хлорфторуглеродов (ХФУ) и других антропогенных химических веществ. Уменьшение озона над Арктикой стало очень заметным, проявляясь наиболее серьезно весной, когда живые организмы наиболее уязвимы.

Международный договор (Монреальский Протокол и дополнения к нему) ввел ограничения на производство ряда химических веществ, разрушающих озон. Однако, многие из них имеют большое время жизни в атмосфере и, следовательно, будут продолжать разрушать озон в течение десятилетий. Озоновая аномалия в Арктике сильно зависит от изменений температуры, поэтому изменение климата, вероятно, окажет очень сильное влияние на нее, хотя основная причина уменьшения озона связана с разрушающими озон веществами, производимыми человеком.

Неопределенности в оценке будущего содержания озона очень велики, однако, очень вероятно, что повышенные уровни ультрафиолета в Арктике будут сохраняться десятки лет, так как для восстановления содержания озона требуется длительный период времени. Повышенные уровни УФ, вероятно, окажут воздействие на многие живые организмы в Арктике. У людей излишние дозы УФ, как известно, вызывают рак кожи, солнечные ожоги, катаракту, повреждения роговицы и подавление функций иммунной системы. Известно, что УФ радиация может вызывать или ускорять повреждения ряда материалов, используемых при строительстве. Видимо, также будет наблюдаться широкий спектр воздействий и на экосистемы.

Многие смешивают причины истощения слоя озона и изменения климата. Хотя оба явления взаимосвязаны, их механизмы разные. Антропогенное изменение климата происходит из-за роста содержания углекислого газа, метана и других парниковых газов, которые удерживают тепло в нижней атмосфере (тропосфере), что приводит к глобальному потеплению. Снижение толщины слоя озона происходит вследствие роста содержания в атмосфере хлорсодержащих химических веществ, производимых человеком, таких как ХФУ и хладагенты, которые разрушают молекулы озона при химических реакциях, происходящих в стратосфере.

Программа по охране окружающей среды ООН (ЮНЕП) и Всемирная Метеорологическая организация (ВМО) проводят периодические оценки изменений стратосферного озона и УФ радиации. Последняя такая Научная Оценка ЮНЕП/ВМО была проведена в 2002 г. АСИА использовала эту оценку в качестве основы, расширив ее выводы.

Снижение толщины озонового слоя в Арктике

Озоновый слой поглощает УФ радиацию солнца, защищая жизнь на Земле от облучения излишними ее дозами. Уменьшение толщины озонового слоя может приводить к росту УФ у поверхности Земли. Наиболее сильное истощение слоя озона наблюдается в полярных регионах, проявляясь в образовании так называемой антарктической "озоновой дыры", и аналогичной, хотя и более слабой, сезонной аномалии в Арктике. Снижение толщины слоя озона наблюдается в разной степени вокруг всей Земли, в целом, становясь менее заметным с удалением от полюсов.

Суммарное среднегодовое сокращение озона над Арктикой с 1979 г. составило около 7%. Однако, эта величина не показывает гораздо более существенных потерь в отдельные периоды года и в отдельные дни, то есть именно тех потерь, которые могут привести к значительным последствиям для живых организмов. Самое сильное снижение содержания озона на



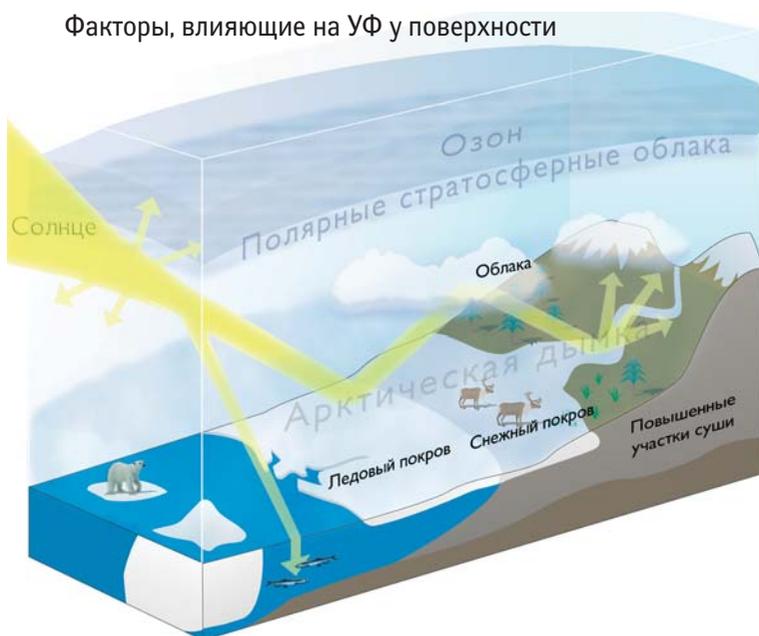
блюдается весной при средней оценке потерь в 10–15% с 1979 года. Наибольшие месячные отклонения — на 30–35% ниже обычного содержания — были в марте 1996 и 1997 годов. В марте — апреле 1997 г. суточные значения содержания озона были на 40–45% ниже обычных. Очень сильные (более чем на 25%) снижения, продолжавшиеся несколько недель, наблюдались на протяжении семи из последних девяти весенних сезонов в Арктике.

Факторы, определяющие УФ на поверхности

Озон прямо влияет на количество УФ, достигающее земной поверхности. Уровень УФ радиации у поверхности также сильно зависит от облаков, угла падения солнечных лучей, высоты места, присутствия в атмосфере мельчайших частиц (аэрозолей) и отражающей способности поверхности (зависящей, прежде всего, от площади сильно отражающего снежного покрова). Эти факторы изменяются день ото дня, сезон от сезона и год от года, и могут повышать или понижать дозы УФ, получаемые живыми организмами. Самые высокие дозы УФ в Арктике наблюдаются весной и летом, в основном, из-за более высокого положения солнца над горизонтом. Малая высота солнца осенью и зимой создает условия для диффузии УФ, рассеиваемой атмосферой и отражаемой снегом и льдом. Отражение от снега может более чем на 50% увеличить дозу для живых организмов.

Разные факторы, влияющие на дозы УФ, могут приводить к разным последствиям, причем, на часть из них, вероятно, окажет влияние изменение климата. Например, снег и лед отражают солнечную радиацию вверх, так что растения и животные на поверхности льда, вероятно, получат меньшие дозы когда снег и лед отступят вследствие потепления. С другой стороны, растения и животные под снегом и льдом, которые прежде были защищены ими, будут получать больше УФ, когда снег и лед отступят. Ожидаемое сокращение снега и льда на поверхности рек, озер и морей, вероятно, приведет к росту доз УФ, получаемых живыми организмами в этих водоемах до уровней, вызывающих повреждение. Кроме того, прогнозируемое более раннее весеннее таяние снега и льда происходит как раз в то время года, когда УФ радиация максимальна из-за меньшего содержания озона.

Факторы, влияющие на УФ у поверхности

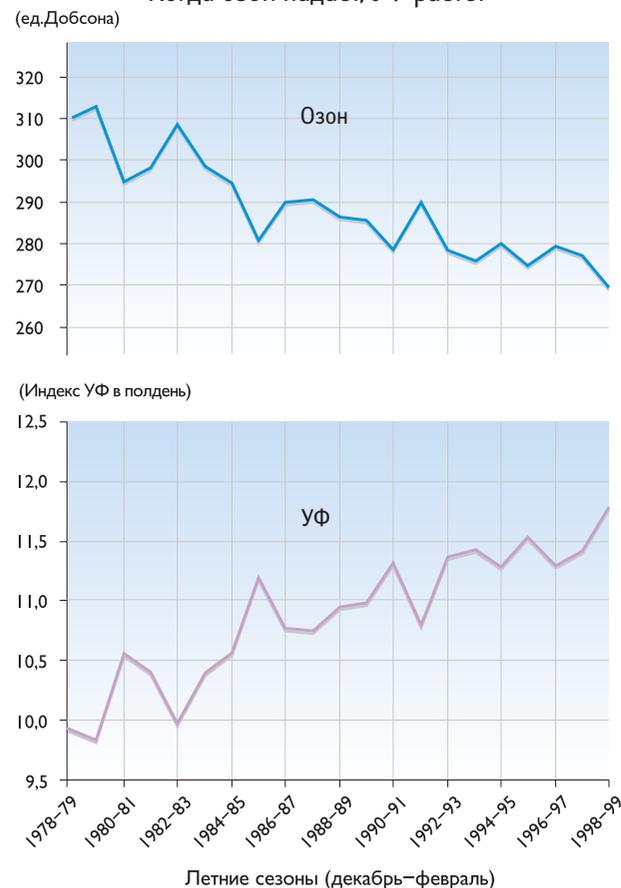


Количество озона, облака, угол падения солнечных лучей, высота места, присутствие в атмосфере мельчайших частиц (аэрозолей) и отражающая способность поверхности (определяемая, прежде всего, площадью снежного покрова, имеющего высокую отражательную способность) — все это оказывает влияние на дозу УФ у поверхности.



Слой озона в стратосфере поглощает часть УФ радиации, приходящей от солнца. Сильнее всего озон поглощает радиацию УФ-В, что значительно снижает ее количество, достигающее Земли. УФ-А и другие типы солнечной радиации поглощаются озоном слабее. УФ повышает риск возникновения рака кожи, катаракты и подавляет иммунную систему человека. Облучение УФ может нанести вред растениям и животным, обитающим на суше, в море, реках и озерах.

Когда озон падает, УФ растет



Этот график показывает, что при равенстве всех других факторов меньшее содержание стратосферного озона приводит к большему количеству УФ радиации у поверхности. Другие факторы тоже влияют на уровни УФ, включая облака, снег и лед, и любой из них может изменить это простое соотношение.



Ожидается, что уменьшение толщины озонового слоя будет продолжаться над Арктикой еще в течение нескольких десятилетий, что подтверждается модельными расчетами, результаты которых дают увеличение доз ультрафиолетовой радиации в весенний сезон на величину до 90% для периода 2010–2020 гг. относительно периода 1972–1992 гг.



Изменения во времени и пространстве

Уменьшение толщины озонового слоя и увеличение вследствие этого уровней ультрафиолета на поверхности в Арктике происходит неравномерно. Для этого процесса также характерна временная изменчивость: в некоторые годы наблюдается сильное разрушение озона, тогда как в другие годы — нет, что определяется изменением динамики и температуры стратосферы. Существует значительная естественная изменчивость уровней озона, и вместе с долговременными изменениями, обусловленными деятельностью человека, продолжают наблюдаться и естественные колебания. Перенос озона может стать причиной очень высоких или очень низких уровней УФ. Вследствие природы процесса уменьшения толщины озонового слоя, повышенные уровни УФ обычно наблюдаются весной, когда биологические системы являются наиболее уязвимыми. Увеличенные дозы УФ, особенно действуя вкупе с другими нагрузками на окружающую среду, создают угрозу некоторым арктическим видам и экосистемам.

Процесс восстановления озона над Арктикой задерживается изменением климата

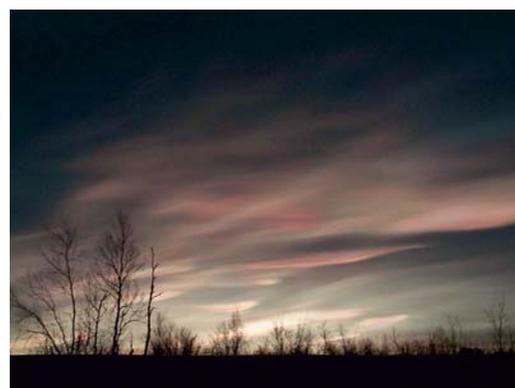
Предполагается, что значительного восстановления уровней стратосферного озона над Арктикой в течение нескольких следующих десятилетий не произойдет. Одна из причин этого заключается в том, что увеличение уровней парниковых газов, нагревающих тропосферу, одновременно приводит к охлаждению стратосферы. Этот процесс может усугубить разрушение озона над полюсами, так как низкие температуры приводят к усилению циркумполярного вихря и способствуют образованию полярных стратосферных облаков. Ледяные частицы в этих облаках являются объектами, на которых происходят химические реакции, разрушающие озон. Причем циркумполярный вихрь изолирует стратосферу над Арктикой и не позволяет озону из более южных районов пополнять разрушенный озоновый слой над Арктикой. Ожидается, что в течение нескольких следующих десятилетий над Арктикой будут наблюдаться снижение толщины озонового слоя и повышенные уровни УФ. Причем сокращение снежного и ледового покрова в весеннее время из-за потепления, вероятно, приведет к облучению уязвимых молодых растений и животных повышенной УФ радиацией.

Арктический озон в марте



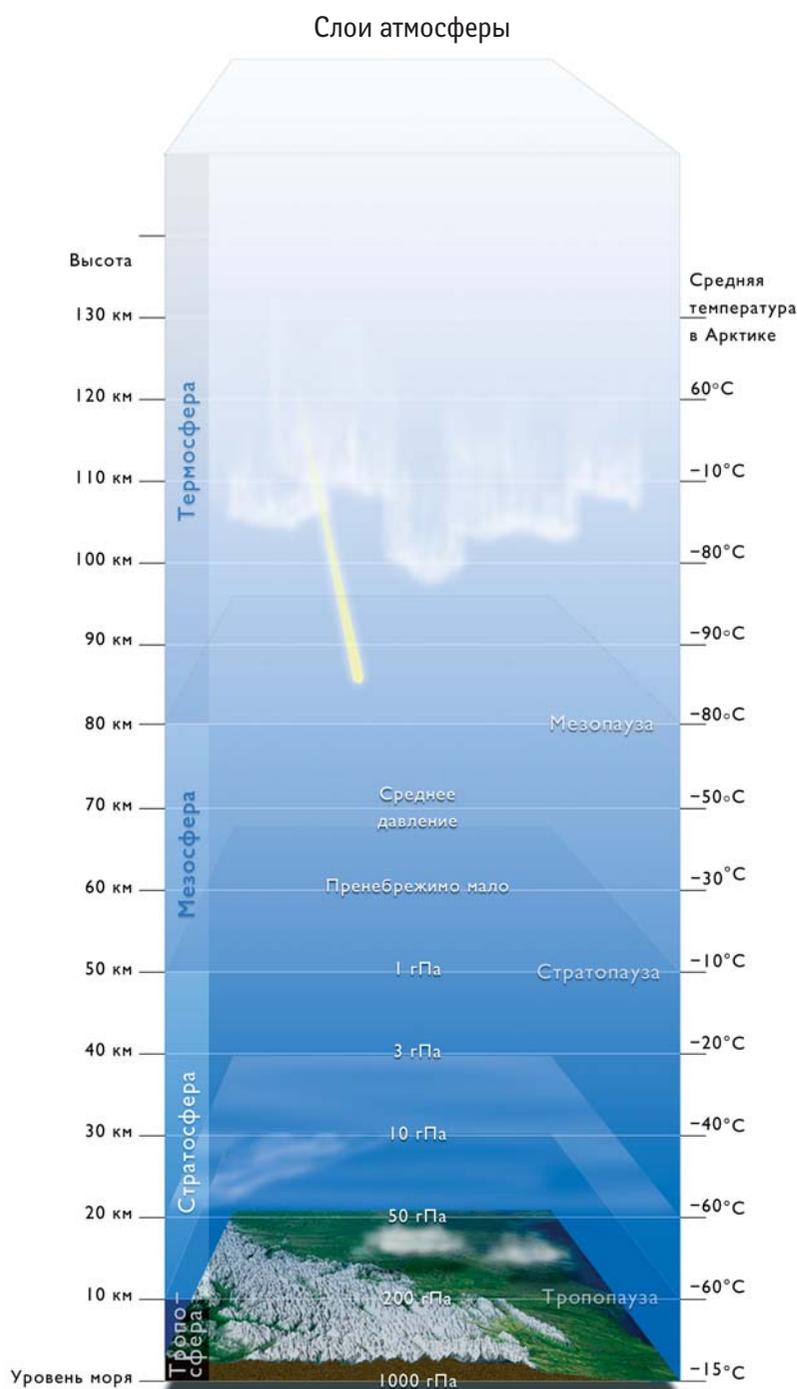
Уровни озона значительно изменяются год от года. Существует также заметный тренд снижения содержания озона, наиболее выраженный вблизи полюсов. Этот график показывает среднее содержание озона до начала сокращения толщины озонового слоя (толстая красная линия) по сравнению с уровнями озона в последние годы. Естественная изменчивость метеорологических условий определяет межгодовые изменения, особенно в Арктике, где процесс истощения озонового слоя обладает высокой чувствительностью к температуре. Голубая линия показывает среднемесячное значение содержания озона в Арктике в марте. После 1982 г. значительное уменьшение слоя озона наблюдалось почти во все годы.

Поскольку ожидается, что уменьшение озонового слоя будет продолжаться над Арктикой еще несколько десятилетий, то, вероятно, эпизоды с очень низкими уровнями озона в весенний период будут повторяться. Результаты моделирования предсказывают увеличение доз УФ в весенний сезон на величину до 90% для периода 2010–2020 гг. относительно периода 1972–1992 гг. При моделировании предполагалось, что требования Монреальского Протокола и дополнений к нему будут полностью удовлетворяться. Реальное восстановление озона, вероятно, будет происходить медленнее, и уровни УФ будут выше, чем в прогнозе, если постепенное снижение выбросов разрушающих озон химических веществ не будет достигнуто, как требует Протокол и дополнения к нему.

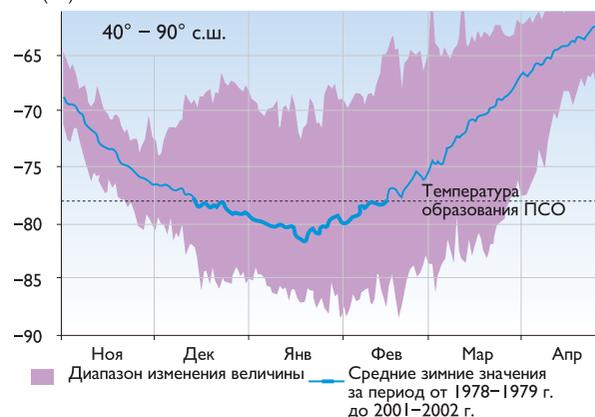


Полярные стратосферные облака

Не ожидается значительного восстановления уровней стратосферного озона над Арктикой в течение нескольких следующих десятилетий.



Температура в нижней полярной стратосфере (°C)



Над Арктикой минимальная температура в нижней стратосфере составляет около -80°C в январе и феврале. Полярные стратосферные облака (ПСО) образуются, когда температура падает ниже -78°C . Ледяные частицы в этих облаках являются объектами, на которых происходят разрушающие озон химические реакции. Растущие концентрации парниковых газов, нагревая воздух около поверхности земли, одновременно приводят к выхолаживанию стратосферы, что создает условия для образования этих облаков на более длительный период и усугубляет разрушение озона.

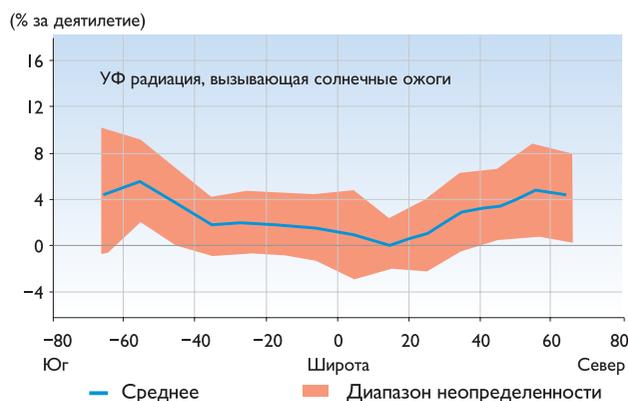


Воздействие ультрафиолета на людей

Человек получает около половины всей своей жизненной дозы УФ к возрасту 18 лет. Из-за повышенных в настоящее время уровней УФ в Арктике нынешнее поколение молодых людей, вероятно, получит дозу УФ на 30% больше, чем любое другое предыдущее поколение. Такое увеличение доз УФ является опасным для людей, проживающих в Арктике, так как УФ может быть причиной или может ускорить развитие рака кожи, повреждения роговицы, катаракты, подавления иммунной системы, вирусных инфекций, старения кожи, солнечных ожогов и других нарушений кожного покрова. Пигментация кожи, хотя и защищает в некоторой степени от рака кожи, не является эффективной защитой от вызываемого УФ подавления иммунной системы. Подавляющие иммунитет эффекты УФ играют важную роль в возникновении вызываемого УФ рака кожи тем, что подавляют процессы разрушения раковых клеток иммунной системой. Некоторые факты подтверждают наличие связи (как предполагается, через подавляющие иммунитет эффекты УФ) между длительностью воздействия солнечного излучения и неходжкинской лимфомой и аутоиммунными заболеваниями, такими как рассеянный склероз. Более высокие уровни УФ могут вызвать рост вирусных заболеваний среди жителей Арктики, так как известно, что УФ, подавляя иммунитет, активирует вирусы (например, обычный вирус герпеса) при том, что потепление климата может привести в Арктику насекомых, переносящих такие вирусы.

Особое внимание в Арктике уделяется повреждениям глаз. УФ традиционно измеряется на гладкой, горизонтальной поверхности, но это не характеризует того, как человек получает дозу УФ. Люди, которые обычно на улице находятся в вертикальном положении, получают более высокую дозу, чем горизонтальная поверхность, в основном, из-за отражения от снега. Измерения, учитывающие этот факт, показывают, что весеннее снижение содержания озона может внести очень большой вклад во влияние УФ на глаза из-за отражения от снега. Наблюдения показывают, что дозы УФ на вертикальных поверхностях, таких как глаза, выше в конце апреля, чем в любое другое время года. Тем самым подтверждается, что количество УФ, которое можно получить, если смотреть горизонтально, может быть равным или превосходить количество УФ, которое можно получить, если смотреть прямо вверх. Можно снизить риски, вызываемые УФ, снижая облучение с помощью солнцезащитных средств, солнечных очков, защитной одежды, а также принимая другие превентивные меры.

Изменения УФ радиации у поверхности



УФ радиация, вызывающая солнечные ожоги, выросла с 1980 г. во всем мире. График показывает уровень УФ радиации у поверхности, оценка которого получена на основе наблюдаемого снижения содержания озона и соотношения между озоном и известными уровнями УФ радиации для разных районов наблюдений. Рост УФ является наибольшим вблизи полюсов, так как там происходит наиболее значительное снижение содержания озона

Помимо воздействий на здоровье человека УФ радиация, как известно, может неблагоприятно влиять на многие материалы, используемые при строительстве для наружных работ. Облучение УФ может изменять свойства пластиков, синтетических полимеров, используемых в красках, и природных полимеров, присутствующих в дереве. Растущее облучение УФ из-за уменьшения содержания озона, вероятно, приведет к сокращению срока годности этих материалов и к росту затрат на частую покраску и другое обслуживание. Высокая отражательная способность земной поверхности из-за снежного покрова и длительного периода солнечного сияния весной и летом, вместе с весенним снижением содержания озона, могут приводить к действию повышенной совокупной дозы УФ на вертикальные поверхности, такие как стены строений, вызывая разрушение восприимчивых к УФ материалов. Сильные ветра и повторяющиеся процессы замерзания-оттаивания, наблюдаемые в Арктике, могут ухудшить состояние материалов, уже поврежденных действием УФ. Затраты на ремонты приведут к повышению стоимости инфраструктуры, что, видимо, будет оплачиваться из кармана населения.

Воздействия УФ на экосистемы

Экосистемы суши

Повышенные уровни УФ радиации по-разному действуют на различные виды растений и животных. Предполагается, что через короткий период времени некоторые виды получат преимущество, тогда как многие другие испытают неблагоприятные воздействия. Долговременные прогнозы воздействий УФ являются в большой степени неопределенными. В дополнение к прямым эффектам воздействия УФ, животные будут испытывать косвенные воздействия вследствие изменений, происходящих с растениями. Например, пигменты, необходимые растениям для защиты от УФ, одновременно делают растения менее усваиваемыми для животных, которые ими питаются. Поскольку некоторые растения могут приспособиться к более высоким уровням УФ радиации, увеличивая пигментацию, то часто последствия этой адаптации сказываются на животных и на процессах в экосистемах. Возросшая УФ радиация оказывает также длительные воздействия на экосистемы, сокращая пищевые циклы и снижая их продуктивность.

В Арктике весна является критическим периодом — временем появления на свет и роста животных и растений. Ранее содержание озона весной было наибольшим, что давало повышенную защиту от УФ радиации живым организмам, наиболее уязвимым в это время года. Несколько десятилетий назад началось снижение содержания озона из-за производимых человеком химических веществ, и теперь весна стала сезоном максимального сокращения стратосферного озона. Более длительный световой день весной также вносит свою долю в облучение УФ радиацией. Совместный эффект роста УФ радиации и изменения климата (например, сокращения снежного покрова весной из-за потепления) создает возможность для более сильных воздействий на растения, животных и экосистемы.

Березовые леса под угрозой вследствие воздействия УФ радиации и потепления на популяцию пяденицы осенней

Примером совместного воздействия возросшей УФ радиации и потепления климата является ситуация с пяденицей осенней — бабочкой, поедающей листья берез и наносящей огромный урон лесам. Увеличенные дозы УФ изменяют химический состав листьев берез, значительно снижая их питательную ценность. Поэтому гусеницы пяденицы едят почти в три раза больше, чем обычно, чтобы компенсировать это снижение. Выросшая УФ радиация, как оказалось, также укрепляет иммунную систему пяденицы осенней. Кроме этого, УФ разрушает вирус полигидрозиса, который является важным механизмом, контролирующим выживание гусениц. Таким образом, увеличенные дозы УФ, как ожидается, приведут к росту популяции гусениц, что, в свою очередь, может вызвать более существенное сокращение листвы в березовом лесу. В то же время, зимняя температура ниже — 36°C ограничивает способность выживания кладок яиц пяденицы осенней, регулируя численность ее популяции. Выживаемость гусениц увеличивается, если зимние температуры превышают это значение. Итак, наблюдаемое и прогнозируемое зимнее потепление, как ожидается, еще более увеличит популяцию пяденицы, тем самым приводя к еще большему повреждению березовых лесов. Негативное воздействие потепления на березовые леса, вероятно, превзойдет воздействие от УФ радиации.



Березовый лес, уничтоженный пяденицей осенней в Абиско, Швеция, 2004 г. Вверху крупным планом — гусеница, поедающая березовую листву.

9 Повышенные уровни ультрафиолетовой радиации окажут воздействие



Ожидается, что потепление климата приведет к увеличению уровней растворенного вещества во многих арктических пресноводных экосистемах, поскольку потепление стимулирует рост растений.

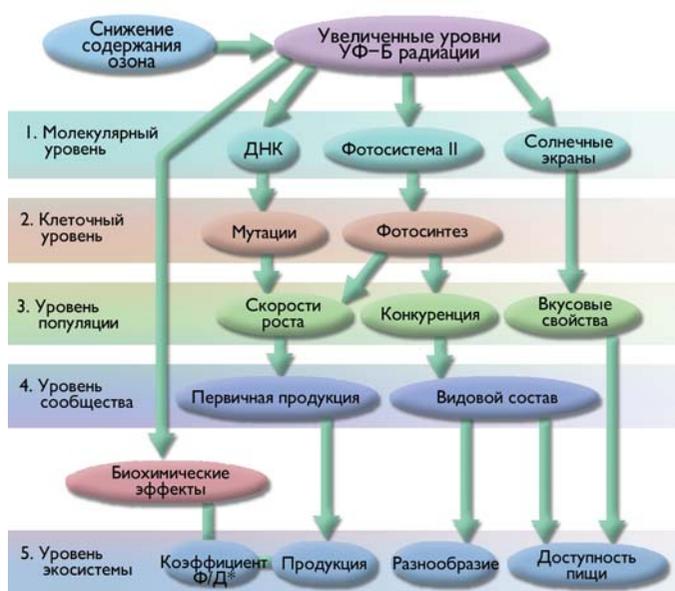
Пресноводные экосистемы

Хорошо известно, что некоторые пресноводные виды, такие как амфибии, обладают высокой чувствительностью к УФ радиации, хотя уязвимость северных видов изучена мало. Изменения, связанные с климатом, могут повлиять на три основных фактора, которые контролируют дозы УФ, действующие на живые организмы в пресноводных системах: стратосферный озон, снежный и ледовый покровы и растворенные в воде вещества, которые выполняют роль естественной защиты от солнца, предохраняя от воздействия УФ. Уменьшение стратосферного озона, как ожидается, будет продолжаться на протяжении нескольких десятилетий, позволяя возросшим уровням УФ радиации достигать поверхности, особенно весной.

Наиболее значительным фактором для водных форм жизни станет вызванное потеплением сокращение снежного и ледового покровов в весенний период, что снизит защищенность растений и животных из-за повышения уровня УФ под водой. Белизна снега и льда создает значительный барьер для проникновения УФ радиации: всего лишь два сантиметра снега могут снизить облучение УФ радиацией подледных организмов почти в три раза. Это особенно важно для пресноводных экосистем с низким уровнем растворенных веществ, способных экранировать УФ радиацию.

Озера и пруды в северных районах Арктики обычно содержат намного меньше растворенных веществ, чем в южной части региона, главным образом, из-за более богатой растительности, которая окружает водоемы на юге. В арктических водах содержится также меньше водных видов растительности. В дополнение к низким уровням концентраций растворенного вещества и, как результат, более глубокому проникновению УФ радиации в арктические озера и пруды, многие из них являются очень мелкими. Например, средняя глубина более чем 900 озер в северной Финляндии и около 80 озер в Канадской Арктике не превышает 5 м. Как следствие, все живые организмы, даже на дне озер, подвергаются воздействию УФ радиации.

Эффекты повышенной УФ радиации в пресноводных экосистемах



*Фотосинтез/Дыхание

УФ диапазон является самой активной частью солнечного спектра и вызывает эффекты в широких пределах — от молекулярного уровня до уровня целой экосистемы.

Первые воздействия потепления будут связаны, прежде всего, с сокращением постоянного ледового покрова на озерах Крайнего Севера, и эти воздействия уже наблюдаются в высоких широтах Канадской Арктики. Так как длительность свободного ото льда сезона возрастает, то эффекты будут усиливаться. Однако, ожидается, что потепление климата приведет к увеличению уровней растворенного вещества во многих арктических пресноводных экосистемах, поскольку потепление стимулирует рост растений. Таяние вечной мерзлоты также может привести к росту количества осадочного материала, находящегося в воде во взвешенном состоянии, что повысит защиту от УФ радиации. Эти изменения могут частично компенсировать рост уровней УФ, вызываемый сокращением снежного и ледового покрова и уменьшением озонового слоя.



Озон и УФ радиация	Тундра и полярные пустыни	Пресноводные экосистемы	Морские экосистемы
5	7	8	9

Морские экосистемы

Фитопланктон, крохотные растения, являющиеся первичными компонентами морских пищевых цепей, может испытывать негативные воздействия от облучения УФ радиацией. Сильное УФ облучение способно снизить продуктивность в основной части пищевой цепи, по-видимому, на 20–30%. Современные уровни УФ радиации оказывают отрицательное воздействие на некоторые вторичные компоненты морских пищевых цепей: наблюдается вызываемая УФ гибель на ранних стадиях жизни, а также снижение выживаемости и способности к воспроизводству. Обнаружены повреждения ДНК некоторых видов в образцах, отобранных в воде с глубины до 20 метров. Некоторые виды испытывают значительные отрицательные воздействия, тогда как другие обладают сопротивляемостью, в зависимости от сезона и местоположения районов размножения, наличия веществ, защищающих от УФ, способности восстанавливаться от повреждений, вызванных УФ радиацией, и от других факторов.

Есть явные свидетельства вредных эффектов УФ радиации на ранних стадиях жизни у некоторых видов морских рыб. Например, в одном эксперименте облучение УФ с уровнями, равными их значению у поверхности, привело к гибели многих эмбрионов и личинок северного анчоуса и тихоокеанской макрели; также были отмечены значительные сублетальные эффекты. Этот эксперимент показал, что в экстремальных условиях может быть потеряно до 13% численности мальков северного анчоуса. Икра атлантической трески в мелкой воде (на глубине 50 см) также испытывает отрицательные эффекты вследствие УФ облучения.

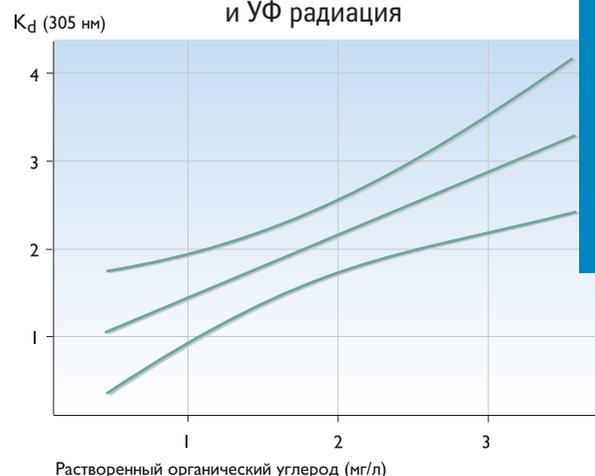
Вызванные УФ радиацией изменения в механизме функционирования пищевой цепи, вероятно, будут более существенными, чем прямые воздействия на биологические виды. Например, даже малые дозы УФ снижают содержание жирных кислот в водорослях, понижая уровни содержания этих очень важных для питания мальков элементов. Так как и мальки, и хищники нуждаются в этих особых жирных кислотах для надлежащего развития и роста, снижение питательных качеств в основании пищевой цепи может распространяться и сильно воздействовать на общее состояние и продуктивность морских экосистем. УФ облучение негативно влияет на здоровье рыб и других морских животных, причем особенно важным является подавление иммунной системы. Даже однократная доза УФ снижает иммунный отклик рыб, а последствия могут наблюдаться и через 14 дней после облучения. Это может стать причиной роста восприимчивости к болезням у целых популяций. Иммунная система рыбной молоди, вероятно, является более уязвимой к УФ радиации, так как она находится на критической стадии развития и ее повреждение может сказаться в дальнейшей жизни.

Последние исследования показывают, что 50% сезонного снижения содержания стратосферного озона могут вызвать сокращение первичной продукции в морских экосистемах на 8,5%. Однако, как и для пресноводных систем, облачность, ледовый покров и показатель прозрачности воды также будут важными факторами, определяющими степень УФ облучения.

Модельные расчеты относительных вкладов разных факторов в смертность одного из видов морского зоопланктона (*Calanus finmarchicus*), вызываемую УФ радиацией. Рисунок показывает, что каждый из факторов: облака, мутность воды и озон — уменьшают число случаев гибели эмбрионов из-за УФ радиации, но при этом из этих трех переменных непрозрачность водного столба имеет самый сильный защитный эффект. Зоопланктон является существенной частью морской пищевой цепи.



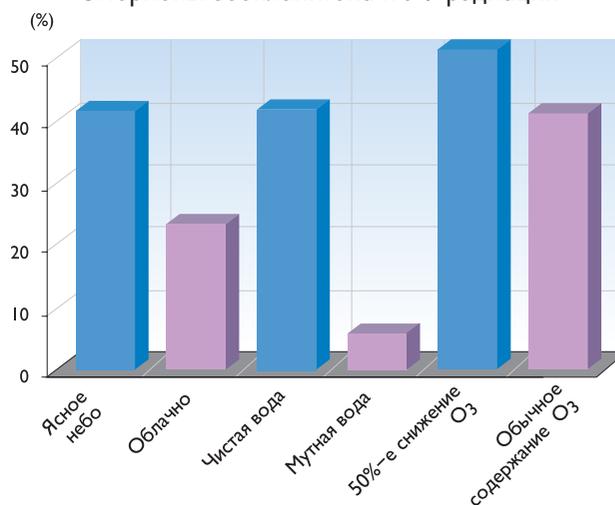
Эмбрионы атлантической трески и УФ радиация



Растворенный органический углерод (мг/л)

Эмбрионы атлантической трески чувствительны к УФ радиации. При защите от УФ облучения (будь то стратосферным озоном, облаками, или растворенным органическим углеродом) их выживаемость резко возрастает. Этот график иллюстрирует уровень защиты, создаваемый присутствием органического материала в водном столбе, показывая, что выживаемость растет с увеличением уровней растворенного органического вещества. Изменение климата может воздействовать на уровни растворенного в воде вещества.

Эмбрионы зоопланктона и УФ радиация



Вид морского зоопланктона *Calanus finmarchicus*

10 Многочисленные факторы взаимодействуют, оказывая совместное влияние



Ветер, реки и океанические течения приносят загрязнения в Арктику

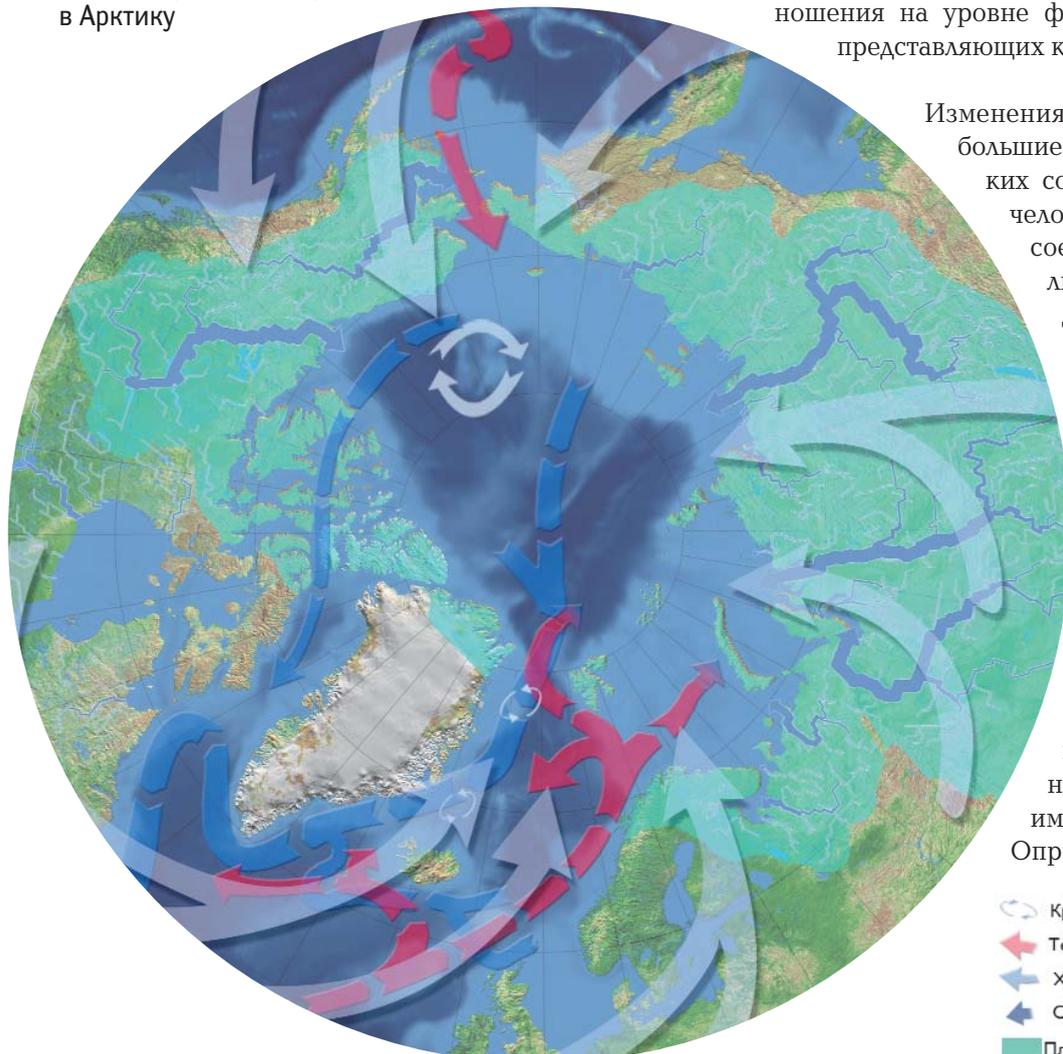
Изменение климата в Арктике происходит на фоне многих других изменений, таких как химическое загрязнение, увеличение ультрафиолетовой радиации и разрушение среды обитания. Изменения в обществе включают в себя рост населения, повышение доступности арктических земель, технологические инновации, либерализацию торговли, урбанизацию, стремление к самоопределению, развитие туризма и так далее. Все эти изменения взаимосвязаны, и последствия этих явлений будут сильно зависеть от взаимодействия между ними. Некоторые из этих изменений будут усугублять воздействия, связанные с меняющимся климатом, тогда как другие ослабят воздействия. Некоторые изменения будут повышать способности человека адаптироваться к изменениям климата, другие же будут ограничивать его адаптационные способности.

Степень, до которой человек может сопротивляться, или порог, когда он станет уязвимым к изменениям климата, зависят от совокупных нагрузок, которым он подвергается, так же как и от его способности приспособиться к этим изменениям. На адаптационную способность очень сильно влияют политические, юридические, экономические, социальные и другие факторы. Реакции на изменения окружающей среды являются многосторонними. Они включают приспособления к методам охоты, оленеводства и рыболовства, также как и изменения в политических, культурных и духовных аспектах жизни. Адаптация может включать в себя изменения знаний и то, как они применяются, например, использование новых знаний о погоде и климате. Люди могут изменить свои места охоты, места пастбищ, виды животных, на которых они охотятся, и строить новые партнерские отношения на уровне федеральных правительств и организаций, представляющих коренные народы.

Изменения окружающей среды, создающие самые большие нагрузки, различны для разных арктических сообществ. Например, угрозы для здоровья человека со стороны устойчивых органических соединений (УОС) и сокращение морского льда являются исключительно серьезными для инуитов в северной Канаде и восточной Гренландии, однако не так важны для саамов в северной Норвегии, Швеции и Финляндии. У саамов гололед, который изолирует корм северных оленей, вызывает большее беспокойство, так же как и увеличение числа дорог на пастбищах.

Изменение климата и загрязняющие вещества

Загрязняющие вещества, включая УОС и тяжелые металлы, переносимые в Арктику из других регионов, находятся среди основных нагрузок на окружающую среду, взаимодействующих с изменением климата. Определенные виды арктических животных,



- Круговорот
- Теплые течения
- Холодные течения
- Сток рек
- Площадь водосбора в Арктике
- Воздушные потоки

Загрязняющие вещества из северных промышленных областей переносятся в Арктику, где они могут накапливаться при движении вверх по пищевой цепи.



Здоровье человека	Климат и многочисленные нагрузки	Заключение и выводы
15	17	18

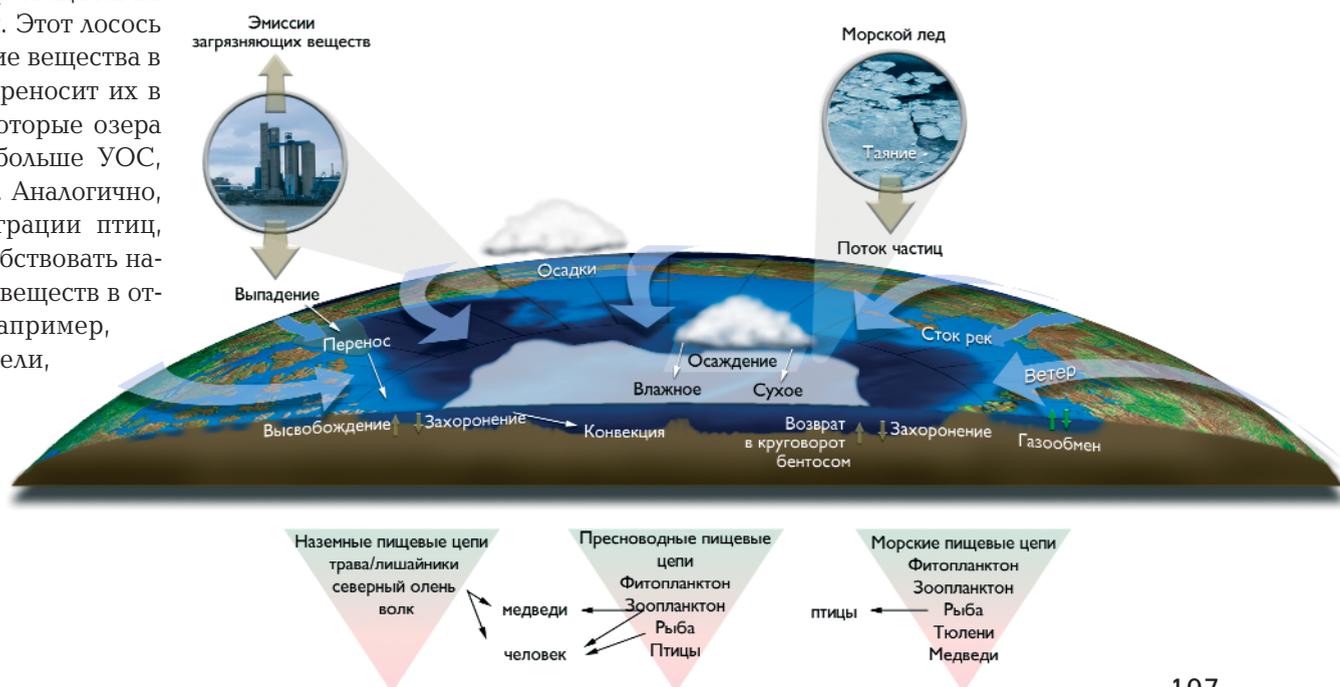
особенно те, кто стоит на вершине морской пищевой цепи, содержат высокие уровни УОС, таких как ДДТ и полихлорбифенилы. Использование этих химических веществ в мире достигло максимума в 1960-е и 1970-е годы, и их производство с тех пор было запрещено в большинстве стран. Однако, загрязняющие вещества, поступившие в природу до принятия этих мер, продолжают присутствовать в окружающей среде и переносятся, главным образом, воздушными течениями от промышленных и сельскохозяйственных источников, расположенных в умеренных широтах, в Арктику, где они осаждаются из воздуха на частицы пыли, снежинки или прямо на земную поверхность.

Концентрация УОС возрастает все более и более по мере продвижения вверх по пищевой цепи, достигая высоких уровней содержания в белых медведях, песцах, различных видах тюленей, китах, рыбе, морских и хищных птицах. Население Арктики, которое питается этими животными, подвергается воздействию потенциально опасных уровней этих загрязняющих веществ. Опасные уровни были отмечены в анализах крови человека в различных арктических сообществах, например, в восточной Канаде, Гренландии и Восточной Сибири, со значительными вариациями в пределах региона.

Ртуть является тяжелым металлом, представляющим наибольшую проблему в некоторых арктических районах. Ртуть поступает в Арктику от удаленных источников, осаждаясь на снег, откуда попадает в окружающую среду при весеннем таянии снега, в начале периода воспроизводства животных и растений и их быстрого роста, когда живые существа наиболее уязвимы. Сжигание ископаемого угля, сжигание отходов и промышленные процессы являются основными источниками глобальной эмиссии ртути. Современные уровни ртути представляют опасность для здоровья некоторых групп арктического населения и животных, и так как ртуть является очень устойчивым элементом, то уровни ртути все еще растут в регионе, несмотря на сокращение ее эмиссии в Европе и Северной Америке.

Ветер переносит загрязняющие вещества, которые вымываются осадками на поверхность суши и моря. Тепловые процессы играют роль в определении распределения загрязнений между воздухом, сушей и водой. Прогнозируемые изменения полей ветра, осадков, и температуры могут, таким образом, изменить пути поступления загрязняющих веществ, районы и величину осаждения загрязнений в Арктике. Более интенсивное таяние многолетнего морского льда и ледников приводит к быстрым выбросам большого количества загрязняющих веществ, которые накапливались льдом в течение многих лет или десятилетий.

Существуют и другие механизмы изменения путей переноса загрязняющих веществ в Арктику в связи с климатическими изменениями. Полученные недавно факты подтверждают, что миграции лосося сильно меняются вследствие изменения климата, и что тихоокеанский лосось может реагировать на изменение климата, перемещаясь на север в арктические реки. Этот лосось накапливает загрязняющие вещества в Тихом океане, а затем переносит их в арктические воды. В некоторые озера рыба может приносить больше УОС, чем атмосферные осадки. Аналогично, изменяющиеся пути миграции птиц, могут переносить и способствовать накоплению загрязняющих веществ в отдельных водосборах. Например, норвежские исследователи, изучающие озеро Элльсёен, обнаружили, что морские птицы играют важную роль в переносе загрязняющих веществ (в данном случае УОС) из морской среды в пресноводную.





Исследования взаимодействующих изменений: пастбища северного оленя у саамов

Наблюдаемые и прогнозируемые увеличения температуры и осадков и изменения продолжительности сезонов многими способами воздействуют на выпас северного оленя. Увеличение повторяемости выпадения дождя на снег и случаев зимнего таяния приводит к формированию ледяной корки, что делает корм менее доступным. Рост осенней температуры сдвигает начало периода установления снежного покрова на более поздние сроки. Возрастающие температура и осадки могут увеличить повторяемость выпадения снега на еще незамерзшую землю. Увеличение количества деревьев, рост густоты березового леса и его распространение в районах пастбищ уже привели к снижению доступности растительного корма для северного оленя зимой. Смещение зоны лесной растительности в область тундры, вероятно, в будущем сократит традиционные районы пастбищ.

Характерное распределение сезонных маршрутов миграции стад между зимними и летними пастбищами отражено в знаниях оленеводов о сезонных изменениях доступности ключевых источников, таких как корм и вода. После теплых зим 1930-х годов, например, когда условия были тяжелыми вследствие выпадения сильных осадков, весной стада начинали двигаться к побережью раньше, чем обычно. Аналогично, переход стад от истощенных в новые, более богатые, районы выпаса, включая «продажу хорошего снега» соседними оленеводами, отражается в знаниях об условиях и местах прокорма. В любом случае, успех оленеводов находится в зависимости от свободы их перемещения.

Разные факторы, включая действия правительства в прошедшие несколько десятилетий, вынудили оленеводов-саамов вырабатывать способность реагировать и справляться с потеплением климата и другими изменениями. Серьезной нагрузкой стали дороги и другие элементы инфраструктуры, появившиеся на традиционных пастбищах северных оленей. Другая нагрузка порождается конфликтами между сторонами. Норвежские горные пастбища являются важным ресурсом для оленеводов, однако, управление пастбищными землями усложняется из-за присутствия хищников, таких как рысь, волк и россомаха, которые представляют собой главную угрозу для выживания оленят, но при этом защищены мерами по охране дикой природы.

“Мир изменился слишком сильно в наши дни. Мы можем сказать, что в природе сейчас все перемешалось. Дополнительной нагрузкой стало постоянное давление на оленеводство со стороны различных политических, социальных и экономических факторов. Трудности стали реальными. Уклад жизни, который раньше был в основе всего, теперь меняется”.

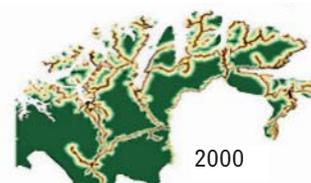
Вейко Магга,
Саамский оленевод
Вуосто, Финляндия



Другие изменения порождаются законами, которые поддерживают производство мяса, поощряя крупных оленеводов и пренебрегая маленькими стадами. Эти законы дают преимущества крупным стадам северных оленей, поголовье которых, таким образом, возросло от 100 до 700 животных. Эти законы также благоприятствуют стадам, где доминируют самки и оленята (оленята забиваются на мясо), и приводят к изменениям в структуре: традиционное стадо, состоящее из примерно 40% самцов, преобразуется в стадо, где только 5% самцов. В традиционной саамской оленеводческой практике самцы играют важную роль, поскольку их замечательная способность раскапывать глубокий или тяжелый снег делает растительный корм доступным для всего стада. Уменьшение доли самцов в стаде может породить большие проблемы в будущем, если снежные условия, изменяющиеся под воздействием изменения климата, сделают выпас еще более трудным для более мелких северных оленей.



Развитие дорог сокращает площадь пастбищ северного оленя



Воздействие (Снижение изобилия дикой природы)

- Очень значительное
- Сильное
- Слабое
- Очень слабое
- Дикая природа

Развитие сети дорог в Финнмарке, в Северной Норвегии, между 1940 и 2000 г., и соответствующее сокращение пастбища северного оленя.



Прогноз развития инфраструктуры



Предполагаемое развитие инфраструктуры, включая дороги, дома, районы военных учений в Северо-Европейском бассейне Арктики в 2000–2050 гг. Сценарий, проиллюстрированный здесь, основан на данных об историческом развитии инфраструктуры, распределении и плотности населения, на информации о существующей инфраструктуре, известном расположении нефтяных, газовых, минеральных и лесных ресурсов, с учетом расстояния от побережья, и типа растительности.

Здоровье человека

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, особенно 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. Историческая способность к переселению, как средству адаптации к изменяющимся климатическим условиям, тоже снизилась, поскольку население перешло на оседлый образ жизни.

Вероятно, существуют как неблагоприятные, так и благоприятные воздействия изменения климата на здоровье человека в Арктике. Прямое положительное воздействие может включать в себя снижение негативного влияния холода, например, обморожений и гипотермии, и уменьшение стрессов, вызванных холодом. 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 прямая связь болезней и смертей с более высокой температурой воздуха. Например, много смертных случаев зимой происходит из-за респираторных инфекций типа гриппа, и неясно, как более высокие значения зимней температуры могут повлиять на распространение гриппа.

Прямые отрицательные воздействия, вероятно, будут включать в себя рост тепловой нагрузки и числа несчастных случаев, связанных с необычными ледовыми и погодными условиями. Косвенные эффекты состоят в воздействии на рацион питания из-за изменений в доступности и возможности использования источников пищи, увеличении психологических и социальных нагрузок, связанных с изменениями в окружающей среде и образе жизни, с потенциальными изменениями в скорости развития бактерий и вирусов, с эпидемиями из-за санитарно-гигиенических проблем. Воздействие на здоровье может также оказывать совместный эффект загрязняющих веществ, ультрафиолетовой радиации и изменений климата.

Коренные народы ряда северных областей сообщают о воздействии стрессов, связанных с экстремально высокими температурами, которые ранее не наблюдались. Воздействия включают трудности для дыхания, которые, в свою очередь, могут ограничить участие человека в физическом труде. Однако, меньшее количество холодных дней, связанное с трендом потепления во многих регионах в течение зимы, как подтверждают наблюдения, имеет положительный эффект, позволяя людям более длительное время находиться зимой на воздухе, и облегчая нагрузку, связанную с сильным холодом.

Связанные с климатом изменения, происходящие с рыбой и дикими животными, очень вероятно, приведут к существенным изменениям в доступности 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 промысловых видов, таких как, лосось, вероятно, создаст экономические трудности и проблемы для здоровья, связанные со снижением доходов в небольших сообществах.



Региональные воздействия

Об этих картах

Карты показывают наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата в четырех арктических регионах в виде средних годовых значений и среднегодовых значений для зимнего сезона (декабрь, январь и февраль).

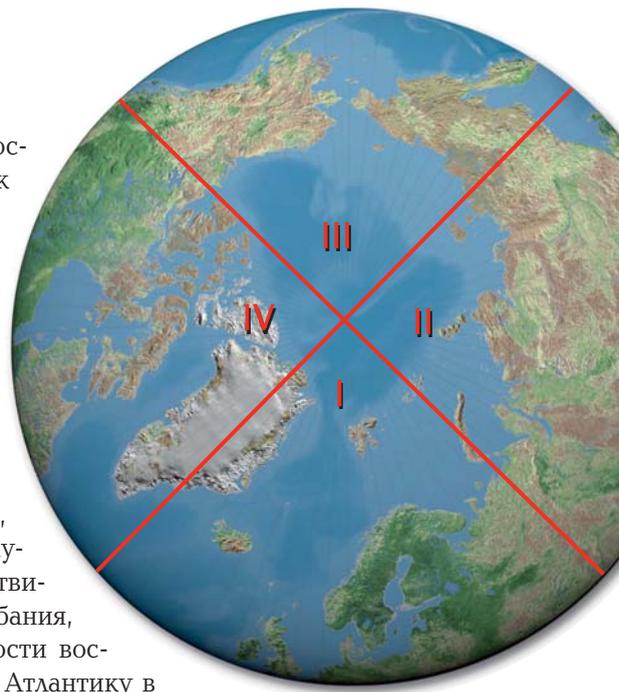
Карты наблюдаемого изменения температуры показывают ее изменение за период от середины 20-го столетия до настоящего времени. Например, желтый цвет отмечает, что область потеплела на 2°C за последние 50 лет. Белым цветом выделены районы, для которых недостаточно данных наблюдений для оценки величины изменения.

Прогностические карты показывают предполагаемое изменение температуры за период от 1990-х до 2090-х годов, основанное на осреднении результатов расчетов, полученных в пяти климатических моделях, используемых АСИА, на основе более умеренного из двух сценариев эмиссии (B2), рассматриваемых в этом отчете. На этих картах оранжевым цветом отмечены районы, которые, согласно прогнозу, потеплеют примерно на 6°C за период от 1990-х до 2090-х годов.

Изменения климата в регионах АСИА

Поскольку атмосферные и океанические связи с остальной частью мира изменяются от региона к региону, изменение климата происходило в пределах Арктики в прошлом столетии по-разному, с более значительным потеплением в одних регионах, чем в других, и даже с небольшим похолоданием в некоторых из них. По модельным оценкам предполагается, что все районы Арктики будут теплеть в будущем, с более сильным потеплением одних районов по сравнению с другими.

Некоторые из региональных изменений, вероятно, будут следовать за изменениями атмосферной циркуляции. Например, регион I является особенно чувствительным к изменениям Северо-Атлантического колебания, которое представляет собой изменение интенсивности восточного переноса воздушных масс через Северную Атлантику в Европу. Когда восточный перенос усилен, теплый морской воздух проникает в северную Евразию и Арктику в течение зимы, приводя к более теплым условиям по сравнению с нормой. Эта особенность воздушного переноса согласуется и, возможно, отвечает за часть потепления Евразийской Арктики в последние десятилетия. Критическим элементом в прогнозах климата 21-го столетия для этого региона является состояние Северо-Атлантического колебания, включающее его возможный отклик на возрастание концентрации парниковых газов.



РЕГИОН I

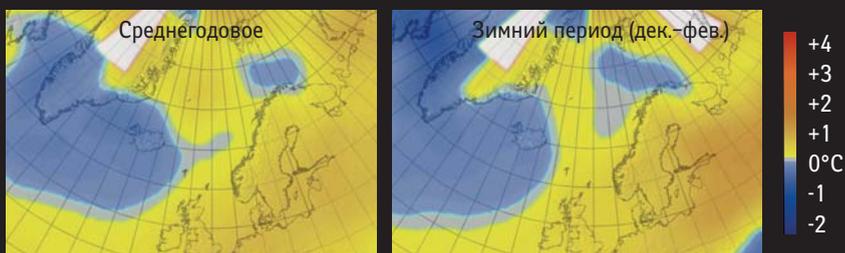
(Восточная Гренландия, Исландия, Норвегия, Швеция, Финляндия, Северо-Запад России и прилегающие моря)

За последние 50 лет среднегодовая температура в Восточной Гренландии, Скандинавии и на Северо-Западе России выросла примерно на 1°C, в то время как в Исландии и Северной Атлантике произошло похолодание на величину до 1°C. Приповерхностная температура воздуха в Арктике и Северной Атлантике зимой оставалась очень низкой, ограничивая потепление в береговых областях. Однако, во внутриматериковых районах средняя зимняя температура выросла примерно на 2°C над Скандинавией и на 2–3°C на Северо-Западе России.

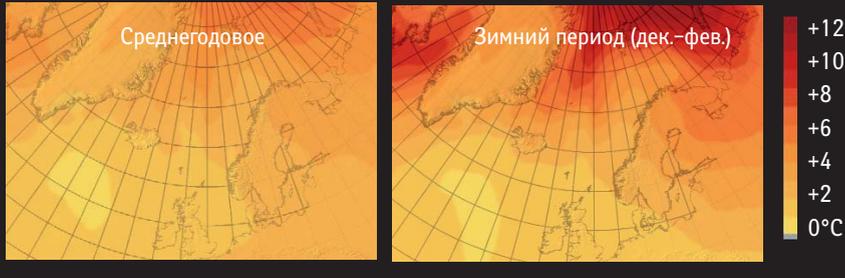
Модельные расчеты показывают к 2090-м годам среднегодовое потепление еще на величину около 3°C в Скандинавии и Восточной Гренландии, около 2°C для Исландии, и примерно на 6°C в центральной части Северного Ледовитого океана. Средние зимние значения температуры по прогнозу возрастут на 3–5°C над большей частью материка и на величину до 6°C на Северо-Западе России, с возрастающим потеплением в направлении к береговой линии, составляющим 6–10°C над прибрежными районами Северного Ледовитого океана.

Центральная часть Северного Ледовитого океана, согласно прогнозу всех моделей, будет теплеть значительно сильнее, чем любой из четырех регионов, с ростом среднегодовой температуры на 7°C и средней зимней температуры на 10°C к 2090-м годам.

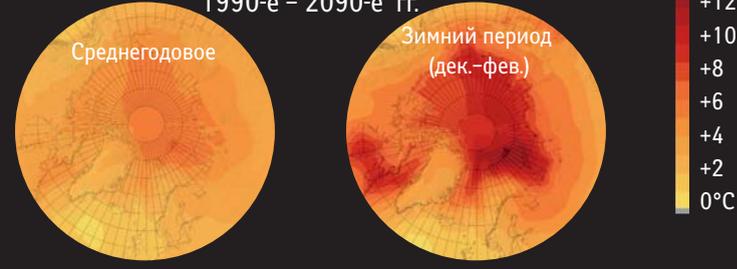
Наблюдаемое изменение приземной температуры: 1954–2003 гг.



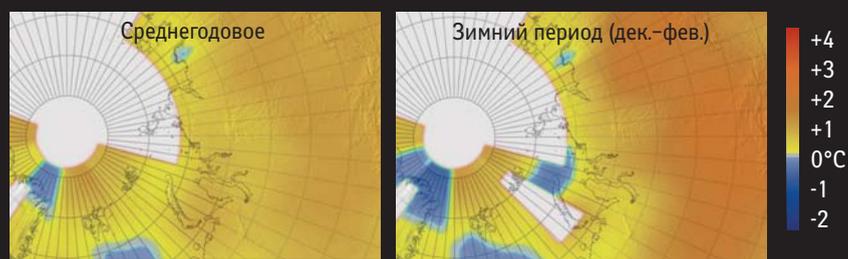
Прогнозируемое изменение приземной температуры: 1990-е – 2090-е гг.



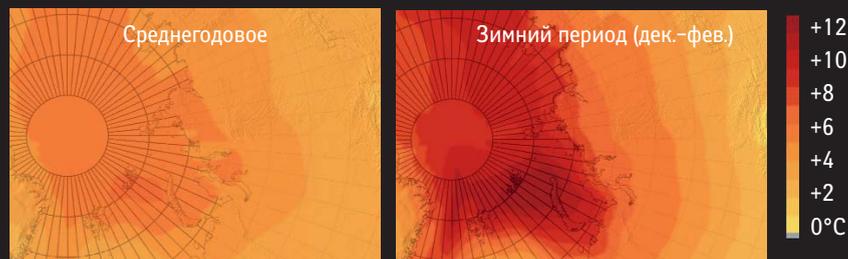
Прогнозируемое изменение приземной температуры: 1990-е – 2090-е гг.



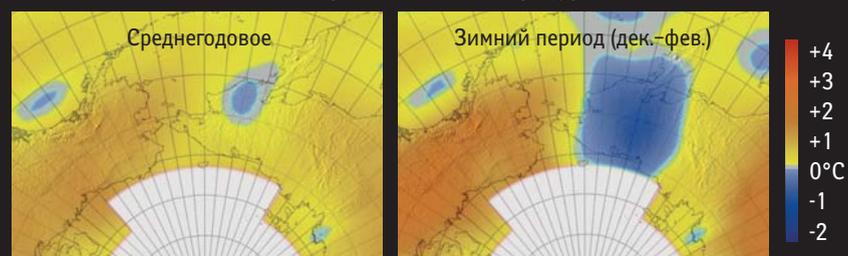
Наблюдаемое изменение приземной температуры: 1954–2003 гг.



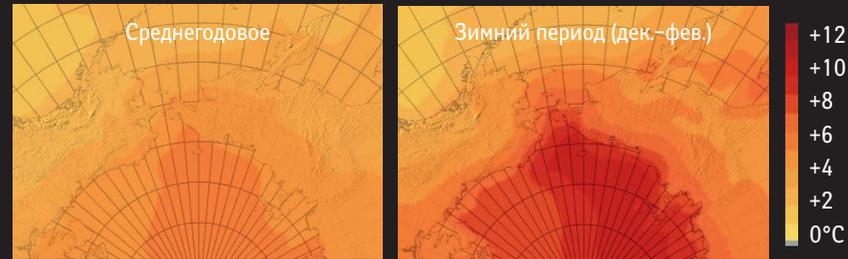
Прогнозируемое изменение приземной температуры: 1990-е – 2090-е гг.



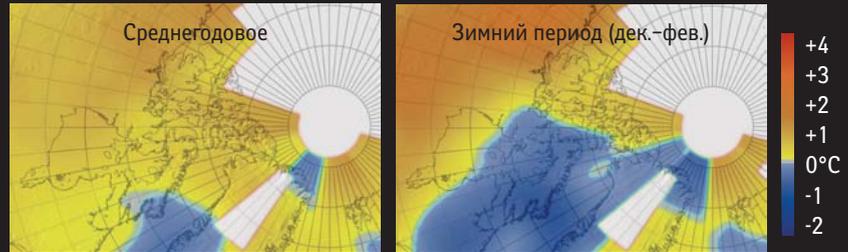
Наблюдаемое изменение приземной температуры: 1954–2003 гг.



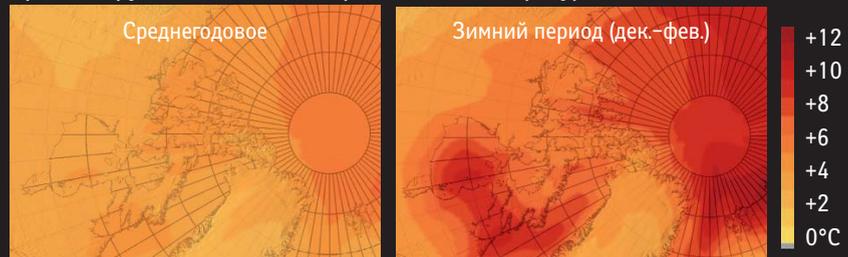
Прогнозируемое изменение приземной температуры: 1990-е – 2090-е гг.



Наблюдаемое изменение приземной температуры: 1954–2003 гг.



Прогнозируемое изменение приземной температуры: 1990-е – 2090-е гг.



РЕГИОН II (Сибирь и прилегающие моря)

Среднегодовая температура в Сибири выросла на 1–3°C за последние 50 лет, с наибольшим потеплением зимой, когда температура выросла на 3–5°C. Наиболее значительное потепление произошло во внутриматериковых областях, где сократилась продолжительность сезона снежного покрова, что способствовало усилению потепления.

К 2090-м годам модели предсказывают увеличение среднегодового потепления на величину около 3–5°C над сушей, с ростом потепления по мере приближения к Северному Ледовитому океану, где температура воздуха, как ожидается, вырастет на 5–7°C. Рост зимней температуры, согласно прогнозу, составит 3–7°C над сушей, также увеличиваясь вблизи северного берега Сибири из-за роста на 10°C и более над прилегающими областями океана.

РЕГИОН III

(Чукотка, Аляска, Западная Арктика и прилегающие моря)

За последние 50 лет среднегодовая температура выросла на 2–3°C на Аляске и канадском Юконе, и на величину около 0,5°C над Беринговым морем и большей частью Чукотки. Наибольшие изменения произошли в течение зимнего сезона, когда приземная температура воздуха выросла на величину около 3–5°C над Аляской, канадским Юконом и Беринговым морем, тогда как зимы на Чукотке стали на 1–2°C холоднее.

К 2090-м годам модели предсказывают среднегодовое потепление на 3–4°C над сушей и над Беринговым морем, и на величину около 6°C над центральной частью Северного Ледовитого океана. Зимние температуры, по прогнозу, возрастут на 4–7°C над сушей и на величину до 10°C над Северным Ледовитым океаном.

РЕГИОН IV

(Центральная и Восточная Канадская Арктика, Западная Гренландия и прилегающие моря)

За последние 50 лет среднегодовая температура выросла примерно на 1–2°C над большей частью Канадской Арктики и северо-западной Гренландии. Воздух над Лабрадорским морем остался холодным, а температура над соседними областями Канады и юго-западной Гренландии понизилась на 1°C. Зимняя температура в центральной Канаде выросла на 3–5°C, в то время как над районами Канады и Гренландии, окружающими Лабрадорское море, она понизилась на 1–2°C.

К 2090-м годам весь район потеплеет. Среднегодовое потепление до 3–5°C прогнозируется над Канадским архипелагом и до 5–7°C над океанами. Зимняя температура, по прогнозу, повысится на 4–7°C над большей частью Канады и на 3–5°C в Гренландии, с увеличением на величину от 8°C до более чем 10°C над Гудзоновым заливом, северной частью Лабрадорского моря и Северного Ледовитого океана, так как площадь морского льда будет сокращаться.

Ключевые воздействия – Регион I

Восточная Гренландия, Исландия, Норвегия, Швеция, Финляндия, Северо-Запад России и прилегающие моря

...На окружающую среду

Воздействия, вызванные сокращением морского льда

Значительное сокращение морского ледового покрова в летний сезон, более раннее таяние льда и более позднее ледообразование станут причиной широкого диапазона воздействий в этом регионе. Например, при уменьшении отражательной способности океанической поверхности будет усиливаться региональное и глобальное потепление. Сокращение морского льда, вероятно, приведет к росту продуктивности в основании морской пищевой цепи, с возможным ростом объемов некоторых рыбных промыслов. Отступление морского льда будет сокращать среду обитания для белых медведей и тюленей, живущих на льду, до такой степени, что, вероятно, появится угроза выживанию этих видов в данном регионе. Увеличение площади открытой воды, вероятно, создаст более благоприятные условия для некоторых видов китов.

Изменения лесов

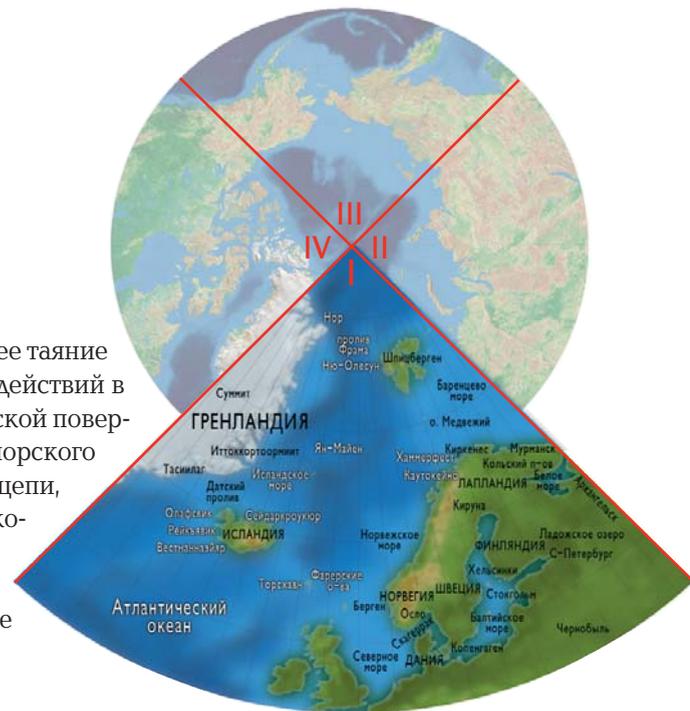
Наблюдения в регионе показывают, что граница зоны лесов продвинулась вверх по склонам на 60 метров в северной Швеции в течение 20-го столетия. Скорость продвижения в последние десятилетия была около полуметра в год или 40 метров на 1°C. В российской части этого региона фактически произошло смещение границы лесной зоны к югу, что, очевидно, связано с загрязнением, вырубкой лесов, с развитием сельского хозяйства и ростом болот, приводящим к гибели деревьев. В некоторых областях Финляндии и северной Швеции очевидное увеличение случаев быстрой смены теплых и холодных периодов зимой вызывало значительное повреждение почек берез.

Прогнозируемое потепление, очень вероятно, вызовет смещение к северу бореального хвойного леса и лесных территорий, а также арктической/альпийской тундры этого региона. Возможности для перемен в растительности, видимо, являются наибольшими в северной Скандинавии, где исторически при потеплении наблюдались значительные сдвиги растительных зон. В этом районе сосновый лес, как ожидается, проникнет в нижний пояс горного березового леса, в то время как граница распространения березы, согласно прогнозу, сместится вверх по склонам и на север, замещая кустарниковую растительность тундры, которая, в свою очередь, вытеснит альпийскую тундру. Более теплые зимы, как ожидается, приведут к увеличению ущерба лесу от насекомых. Некоторые виды крупных бабочек и мотыльков, как уже наблюдается, расширяют свои ареалы к северу, причем личинки некоторых из них стали вредить местным видам деревьев.

Сокращение биоразнообразия

В этом регионе более теплые зимы последних лет и изменившиеся снежные условия, по-видимому, внесли вклад в сокращение популяций северного оленя и уничтожение популяций леммингов и мелких грызунов, наблюдаемые в последние десятилетия. Такие сокращения, в свою очередь, вызывают сокращение популяций птиц и других животных, с наиболее серьезным снижением численности плотоядных животных, например, песцов, и хищников, таких как снежные совы. Популяции этих двух видов уже сокращаются наряду с некоторыми другими видами птиц. В результате смещения границ распространения видов на север видовое разнообразие альпийских районов северной Норвегии, Швеции, Финляндии и России больше всего подвергается угрозе, поскольку им некуда смещаться, так как подходящая для них среда обитания исчезает с материка. Полоса среды обитания тундры между лесом и океаном является особенно узкой и чувствительной к сокращению.

Местное разнообразие пресноводных видов рыб в этом регионе, согласно прогнозу, первоначально увеличится, так как на север будут мигрировать новые виды. Однако, поскольку потепление будет продолжаться десятилетия, температура, очень вероятно, превысит допустимые тепловые границы для жизнедеятельности некоторых местных видов и, таким образом, разнообразие видов сократится. Окончательным результатом может стать такое же число видов, но с другим видовым составом — одни виды появятся, а другие исчезнут. При этом, в целом, виды, пришедшие в Арктику, будут видами низких широт, в то время как исчезнувшие виды, очень вероятно, будут потеряны навсегда, поскольку им больше некуда отступать. Окончательным результатом может стать сокращение биоразнообразия в глобальном масштабе.



...На экономику

Морское рыболовство

Этот регион является местом некоторых наиболее богатых морских рыбных промыслов в Арктике. Более высокая температура вод океана, вероятно, приведет к перемещению некоторых видов рыбы к северу, также как и к сдвигу во времени сроков миграции, возможному расширению районов откорма и увеличению скорости роста. Согласно умеренному сценарию потепления, возможно, ценный запас трески может образоваться в западно-гренландских водах, если мальки будут уходить от Исландии, а вылов рыбы не будет производиться достаточно долго, чтобы позволить нерестящемуся стаду начать восстанавливаться. С другой стороны, при таких обстоятельствах уловы северной креветки, как ожидается, снизятся на 70%, так как эта креветка — важная часть пищевого рациона трески. Более южные виды рыб, такие как макрель, могут прийти в регион, предоставляя новые возможности, хотя выловы мойвы, вероятно, будут снижаться.

Лесная зона

Изменение климата уже влияет на лесную промышленность, и воздействия, вероятно, станут более серьезными в будущем. Нашествия вредителей леса в российской части региона нанесли наиболее значительный ущерб. Европейский пилильщик поразил множество областей, каждая из которых занимает более чем 5000 гектаров. Число нашествий насекомых в год для периода 1989—1998 гг. было в 3,5 раза выше, чем для периода 1956—1965 гг., средняя величина ущерба лесу удвоилась. В то время как в большей части региона наблюдается умеренный рост лесной промышленности, в России произошло сокращение этой отрасли из-за политических и экономических факторов. Эти факторы, вероятно, будут усугубляться потеплением, которое в ближайшей перспективе будет отрицательно воздействовать на качество древесины из-за ущерба от насекомых, а также на инфраструктуру и зимние перевозки вследствие таяния грунта.

...На жизнь человека

Оленеводство

Оленеводство для саамов и других коренных народов является важным экономическим и культурным видом деятельности в этом регионе, и люди, занимающиеся выпасом оленей, обеспокоены воздействиями изменения климата. В последние годы, осенью, в некоторых районах дожди часто сменялись заморозками, и наоборот, что вызывало образование слоя льда на грунте, ограничивающего доступ северному оленю к лишайникам, находящимся под этим слоем. Такие условия, являясь сильным отклонением от нормы, в некоторые годы приводили к значительным потерям поголовья северного оленя. Изменения снежных условий также порождают проблемы. С тех пор, как оленеводство стало моторизованным, пастухи, использующие снегоходы, должны задерживать начало перегона стад до первого снега. В некоторые годы это приводило к задержкам до середины ноября. Ландшафт также часто становится слишком трудным для переездов, если снежный покров невелик. Будущие изменения размеров снежного покрова и его состояния могут вызвать серьезные неблагоприятные последствия для оленеводства и для связанных с ним физических, социальных и культурных составляющих жизни оленеводов.

Социально-экономические изменения

Перспективы и возможности получения доступа к важным естественным ресурсам привлекли в этот регион большое число людей. Относительно интенсивная промышленная деятельность, особенно на Кольском полуострове, способствовала росту плотности населения, которая сейчас является самой высокой в циркумполярной зоне Севера. Согласно прогнозам, с продолжением потепления возрастут возможности для сельского хозяйства. Воздействия изменений климата и их влияние на доступность ресурсов могут вызвать существенные изменения экономических условий с последующими сдвигами в демографической, социальной структуре и изменениями культурных традиций региона.

“Погода изменилась к худшему, и для нас это плохо. Это затрудняет передвижения при работе. Прежде постоянный лед устанавливался в октябре... Сейчас вы можете рискнуть выйти на лед только начиная с декабря. Вот так все изменилось”.

Аркадий Ходзинский
Ловозеро, Россия



Ключевые воздействия – РЕГИОН II

Сибирь и прилегающие моря



...На окружающую среду

Сибирские реки

Изменение климата окажет важнейшие воздействия на крупные сибирские реки, которые протекают в Арктике. Прогнозируемый рост количества зимних осадков вызовет рост стока рек с предполагаемым 15% годовым увеличением поступления пресных вод в Северный Ледовитый океан к концу этого столетия, а также приведет к смещению наступления весеннего половодья на более ранние сроки. Возрастающий зимний и весенний сток рек будет увеличивать приток биогенных веществ и осадочного материала в Северный Ледовитый океан, что вызовет как положительные, так и отрицательные воздействия. Экосистемы прибрежных низменностей и болот, вероятно, расширятся, увеличивая зоны обитания для некоторых видов, однако, при этом возрастет эмиссия метана. Предполагаемый рост притока пресной воды в океан, вероятно, окажет важные воздействия на факторы, влияющие на океанические течения и морской лед, что будет иметь как глобальные, так и региональные последствия. Рост потоков пресной воды через прибрежную зону также, вероятно, ускорит таяние береговой и субмаринной вечной мерзлоты вдоль большей части береговой линии региона.

Осадки и почвы

Ожидаемое увеличение осадков, в целом, будет способствовать образованию более влажных почв там, где почвы не замерзшие, а также повысит содержание льда в верхнем слое почвы в течение зимы. Осадки в виде снега в течение зимы, вероятно, возрастут, поскольку потепление сопровождается ростом осадков, а продолжительность сезона снежного покрова, как ожидается, сократится. Прогнозируемое увеличение доступной влаги, вероятно, окажет благоприятное влияние на рост растений в районах, до этого времени испытывавших ее дефицит.

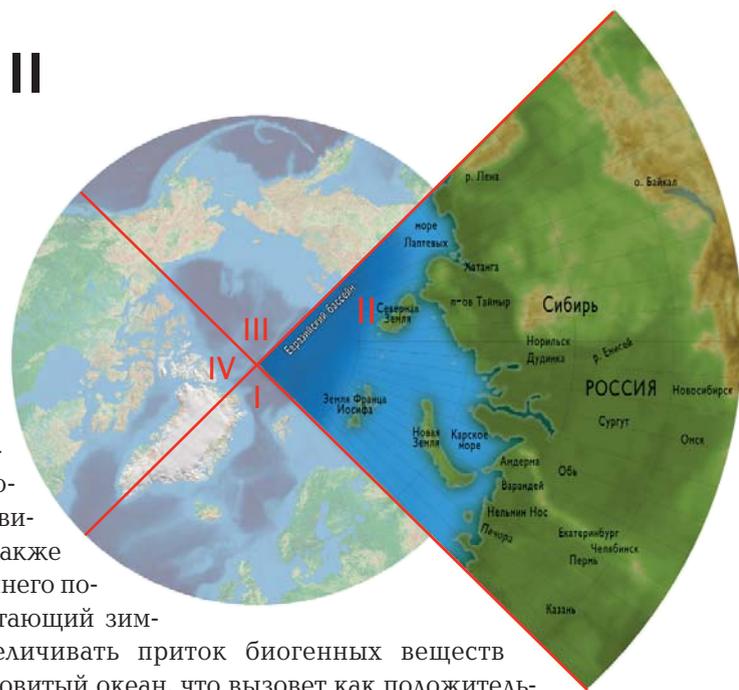
...На экономику

Открытие Северного морского пути

Потенциально значительным воздействием на экономику региона может стать открытие Северного морского пути для коммерческого судоходства. Доступ в летний период в большую часть прибрежных вод Евразийской Арктики облегчится, так как, по оценкам, они будут относительно свободными ото льда на протяжении нескольких десятилетий, при гораздо более сильном таянии ближе к концу столетия. Из-за продолжающегося отступления многолетнего морского льда в Северном Ледовитом океане в зимний период, вполне возможно, что зимой будет доминировать однолетний морской лед во всей Евразийской морской Арктике, с сокращением повторяемости вторжений многолетнего льда в окраинные моря и с большей площадью открытой воды в течение лета. Такое изменение, вероятно, будет иметь важные последствия для выбора маршрутов плавания в этом регионе. К концу этого столетия продолжительность сезона навигации (период, когда сплоченность морского льда меньше 50%) вдоль Северного морского пути, по прогнозу, увеличится до 120 дней от современных 20 – 30 дней.

Перевозки угля и минеральных ресурсов

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, получают



выгоду из-за сокращения морского льда и продления навигационного сезона. Предприятия горнодобывающей промышленности, которые используют 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 проблемами с доступом по суше.

...На жизнь человека

Водные ресурсы

Переход к более влажному климату, вероятно, приведет к увеличению запасов воды для людей, постоянно проживающих в регионе. В районах, свободных от вечной мерзлоты, уровень грунтовых вод, вполне вероятно, поднимется ближе к поверхности, и большее количество влаги, по прогнозу, будет доступно для сельского хозяйства. Весной возросшие осадки и сток, очень вероятно, вызовут рост уровня воды в реках и увеличение риска наводнений. Более низкие уровни воды, согласно прогнозу, будут наблюдаться летом, что, вероятно, негативно повлияет на речную навигацию и гидроэнергетику и увеличит риск лесных пожаров.

Ущерб инфраструктуре

Сочетание роста температуры почвы и неадекватного проектирования и методов строительства фундаментов на вечной мерзлоте привело к серьезным повреждениям инфраструктуры в Сибири в последние десятилетия. Обследования, проведенные в регионе в 1990-е годы, показали, что почти половина всех зданий находится в плохом состоянии, количество строений, рассматривающихся как находящиеся в опасном состоянии, оценивается в пределах от 22% в поселке Тикси до 80% в городе Воркута. В последнее десятилетие число случаев деформации зданий выросло на 42% в Норильске, до 61% в Якутске, и до 90% в Амдерме. Дороги также находятся в бедственном положении. В начале 1990-х годов 10–16% железнодорожных путей на Байкало-Амурской магистрали в зоне вечной мерзлоты были деформированы из-за ее таяния и эта цифра выросла до 46% к 1998 г. Большинство взлетно-посадочных полос в аэропортах Норильска, Якутска, Магадана и других городов в настоящее время находится в опасном состоянии. Повреждение линий нефте- и газопроводов в зоне вечной мерзлоты создает особенно серьезную ситуацию; 16 разрывов было зафиксировано на трубопроводе Месоыха-Норильск в прошлом году. В Ханты-Мансийском автономном округе произошли 1702 аварии с разливами, более 640 квадратных километров суши были изъяты из пользования за один год вследствие загрязнения почвы.

Экономия затрат на отопление

Снижение спроса на топливо, используемое для обогрева, может стать позитивным эффектом климатического потепления в этом и других регионах. В Восточной Европе и России большая часть городских зданий оборудована центральными системами отопления, которые работают весь зимний период. Согласно сценариям будущего потепления, продолжительность периода, когда производится обогрев зданий, сократится, и количество энергии, требуемой для отопления, вероятно, уменьшится. Экономия энергии вследствие снижения спроса на обогрев в северных областях, вероятно, будет компенсироваться ростом температур и продолжительности теплого сезона в более южных частях региона, где появится потребность в использовании кондиционеров воздуха.

Воздействия на коренные народы

Многие коренные народы этого региона занимаются оленеводством. Крупные пастбищные земли сокращаются из-за добычи нефти и другой промышленной деятельности. Изменение климата, вероятно, добавит ряд новых нагрузок. Вечная мерзлота присутствует в большей части региона и, если потепление приведет к ее деградации, традиционные пути миграции северных оленей, очень вероятно, будут нарушены. Также, согласно прогнозам, потепление будет вызывать более раннее таяние и более позднее становление морского льда в дельте реки Оби, что может перерезать пути между зимними и летними пастбищами. Кроме того, сокращение морского льда приведет к увеличению доступа в регион по Северному морскому Пути. Это, вероятно, будет способствовать развитию региона, что может иметь негативные последствия для местного населения и их традиционных культур.

Прогнозируемый рост притока пресной воды в океан, вероятно, окажет важные воздействия на факторы, влияющие на океанические течения и морской лед, что будет иметь как глобальные, так и региональные последствия.



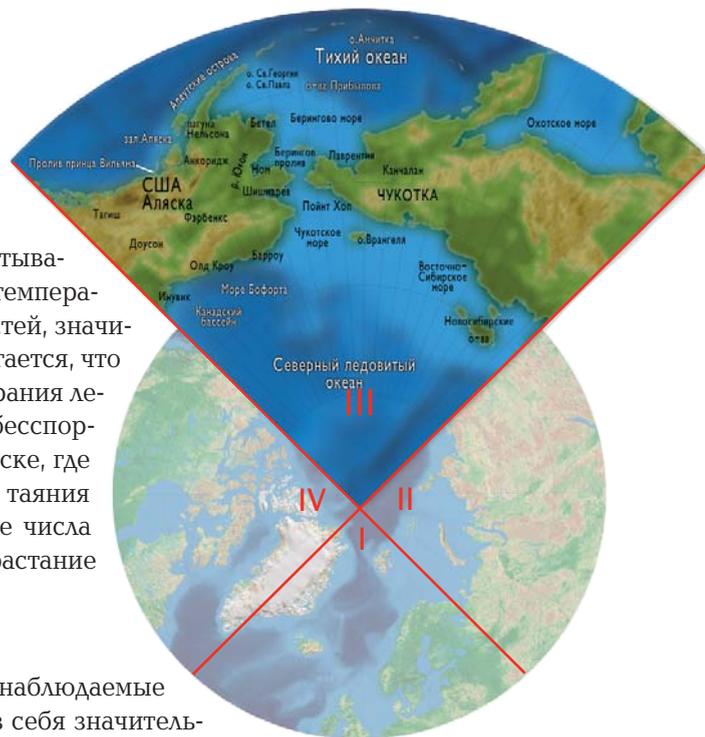
Ключевые воздействия – РЕГИОН III

Чукотка, Аляска, Западная Канадская Арктика и прилегающие моря

...На окружающую среду

Изменения лесов

Среди всех регионов этот регион, особенно Аляска и Канадский Юкон, испытывают наиболее сильное потепление, имеющее экологические последствия. Рост температуры повлек за собой распространение бореального леса на север в ряде областей, значительный рост повторяемости и вспышки численности насекомых — предполагается, что эти тенденции усилятся. Один из прогнозов дает тройной рост площади выгорания лесов за десятилетие, что приведет к уничтожению хвойного леса и, в итоге, к беспорядочному доминированию лиственного ландшафта на полуострове Сьюард на Аляске, где в настоящее время преобладает тундра. Некоторые лесные области по мере таяния вечной мерзлоты, вероятно, превратятся в болота. Наблюдаемое увеличение числа градусо-дней на 20% принесет выгоду сельскому хозяйству и увеличит разрастание леса в некоторых районах, при сокращении его роста в других местах.



Воздействия на морские виды

Обусловленные изменением климата воздействия, наблюдаемые в последнее время в Беринговом море, включают в себя значительные сокращения популяций птиц и млекопитающих, необычное цветение водорослей, аномально высокие значения температуры воды и низкие уловы лосося при его возвращении к районам нереста. В то время как за последние несколько десятилетий рыбный промысел в Беринговом море стал одним из крупнейших в мире, поголовье морских львов снизилось на 50% — 80%. Число детенышей морских котиков на островах Прибылова — основном месте их размножения в Беринговом море — сократилось наполовину за период 1950 — 1980 гг. Произошли значительные сокращения популяций некоторых видов морских птиц, включая обычных кайр, толстоклювых кайр, красноногую говорушку и обыкновенную моевку. Численность лосося была значительно ниже ожидаемой, рыба стала меньше в размерах, и традиционные пути миграции, по-видимому, поменялись. Прогнозы, выполненные для Берингова моря, дают повышение продуктивности в основе пищевой цепи, смещения на север некоторых холодноводных видов и негативные эффекты для видов, живущих на льду.

Биоразнообразие в опасности

Для этого региона, в котором произрастают более чем 70% редких арктических видов растений, нигде на Земле больше не встречающихся, характерно большое биоразнообразие. Здесь имеется значительно больше видов животных и растений, находящихся под угрозой вымирания, чем в других арктических регионах, что делает биоразнообразие здесь довольно уязвимым к изменению климата. Виды, сконцентрированные на малых территориях, таких как остров Врангеля, находятся в особенно большой опасности вследствие прямых эффектов изменения климата, подкрепленных угрозой со стороны чужих для этой местности видов, которые, по мере потепления климата, будут приходить сюда и вступать в конкуренцию. Распространение на север карликовых кустарников и деревьев как доминирующей растительности и их появление на острове Врангеля может привести к потере многих видов растений. Этот регион характеризуется также обширным списком видов животных, находящихся под угрозой вымирания, включая лемминга Врангеля, американского журавля, белоплечего орлана, белолобого американского гуся, краснокрылую американскую коллицу и песочника.

...На экономику

Нефтяная и газовая промышленности

Обширные запасы нефти и газа были открыты на Аляске вдоль побережья моря Бофорта и в районе канадской реки Маккензи/моря Бофорта. Климатические воздействия, оказываемые на развитие добычи нефти и газа в регионе, в будущем, вероятно, принесут как финансовые выгоды, так и потери. Например, добыча нефти на шельфе и производство, вероятно, получат выгоды от уменьшения площади и толщины морского льда, однако, оборудование должно быть спроектировано таким образом, чтобы выдерживать возросшую волновую активность и движение ледяных полей.



Ледяные дороги, широко используемые сейчас для передвижения, вероятно, можно будет использовать в течение более коротких периодов, и они станут более опасными; это также относится к переездам по снегу, когда снега будет меньше и снежный сезон станет короче. В результате потепления, наблюдающегося после 1970-х годов, число дней, когда добыча нефти и газа в тундре Аляски была разрешена в соответствии с государственными стандартами, упало от 200 до 100 дней в году. Стандарты, основанные на оценке прочности поверхности тундры и наста, разработаны для ограничения повреждения тундры. Таяние вечной мерзлоты, на которой расположены здания, трубопроводы, аэродромы и береговые сооружения, обеспечивающие добычу нефти и газа, очень вероятно, окажет на них неблагоприятное воздействие и приведет к увеличению затрат на их содержание.

Рыбные промыслы

Трудно прогнозировать воздействия на прибыльное рыболовство в Беринговом море, поскольку здесь присутствует множество факторов помимо климата (методы управления промыслами, рыночный спрос и цены, методы и технологии лова рыбы). Как ожидается, потепление будет сопровождаться значительным смещением к северу некоторых видов рыб и моллюсков. Может стать необходимым перемещение промысловой инфраструктуры, включая рыболовные суда, порты, перерабатывающие заводы, что вызовет рост финансовых затрат. Более теплые воды, вероятно, обусловят возрастание первичной продукции в некоторых областях, но также и сокращение поголовья холодолюбивых видов, таких как лосось и сайда.

...На жизнь человека

Традиционные средства к существованию

Способы существования, которые поддерживают коренные сообщества, включают охоту, установку капканов, рыболовство и оленеводство. Внося значительный вклад в рацион и здоровье многих коренных народностей, эти виды деятельности также играют большую социально-культурную роль. Этим занятиям уже угрожают многочисленные факторы, связанные с климатом, включая сокращающиеся или перемещающиеся в другие места обитания популяции морских млекопитающих и птиц, и других представителей дикой природы, а сокращение площади и толщины морского льда делают охоту более трудной и опасной. Популяция северного оленя в районе реки Поркупайн является особенно важной для коренных народов Аляски, канадского Юкона и Северо-Западных Территорий, причем уже наблюдаются воздействия изменения климата на это стадо.

Лосось и другая рыба, которая поднимается на нерест вверх по рекам от устьев, составляет более 60% ресурсов дикой природы, обеспечивающих пищу местных жителей. Недавнее сокращение популяций этих рыб прямо отразилось на питании и экономическом благосостоянии населения. Изменение климата, вероятно, окажет значительное воздействие на доступность ключевых источников питания, смещая зоны обитания и численность поголовья лосося, сельди, моржа, тюленей, китов, северного оленя, американского лося и различных видов морских и водоплавающих птиц. Продолжающееся сокращение морского льда летом, вероятно, поставит популяции белого медведя и кольчатой нерпы на грань исчезновения уже в этом столетии, с очень серьезными последствиями для людей, от них зависящих.

Угрозы для береговой инфраструктуры

Рост повторяемости и силы штормовых нагонов привел к усилению береговой эрозии, которая уже представляет угрозу для некоторых поселений на побережьях морей Берингова и Бофорта. Единственным возможным и очень дорогим выходом из положения является перенос поселков. Штормовые нагоны также привели к снижению защиты береговых поселений, обеспечиваемой островными барьерами и склонами, являющимися сильно уязвимыми к эрозии и волновому разрушению. Согласно прогнозу, будут возрастать и другие воздействия на инфраструктуру поселений. Водная среда и водоочистные сооружения подвергаются угрозам во многих местах из-за таяния вечной мерзлоты. Дорогам, строениям, трубопроводам, линиям электропередач и другим объектам инфраструктуры также угрожает береговая эрозия и деградация вечной мерзлоты.

“Наше общество видит реальные и драматические эффекты, являющиеся результатом потепления, которое наблюдается в Северном Ледовитом океане и окружающей среде Арктики. Весной мы видим, что лед разрушается быстрее, и это сокращает период нашей охоты на моржей, тюленей и китов”.

Калеб Пунгоувийи
Ном, Аляска



Ключевые воздействия – Регион IV

Центральная и Восточная Канадская Арктика, Западная Гренландия и окраинные моря

...На окружающую среду

Повсеместное таяние

Максимальное отступление морского льда летом на север, согласно оценкам, в течение этого столетия возрастет от современных 150–200 км до 500–800 км. Толщина припая (прибрежного льда) в Северо-Западном Проходе, согласно оценкам, значительно сократится от его нынешней толщины в один – два метра. В последние годы на гренландском ледниковом щите наблюдается рекордное таяние, что, вероятно, внесет значительный вклад в подъем уровня моря, также как и в возможные изменения океанической циркуляции в будущем. Новые исследования подтверждают, что таяние Гренландского ледникового щита, вероятно, происходит быстрее, чем ранее предполагалось.

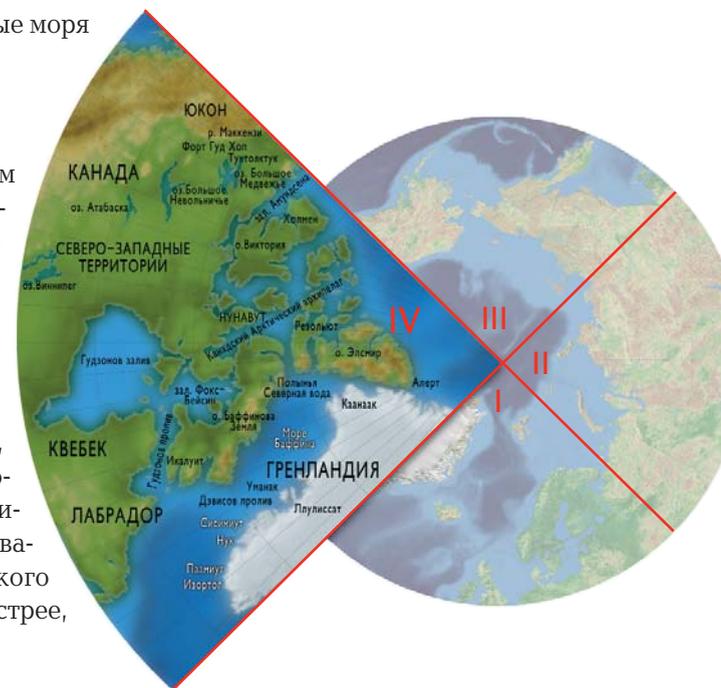
Вследствие повсеместного роста температуры воздуха в этом столетии возможно оттаивание значительных областей вечной мерзлоты в канадской части этого региона. Граница между районами прерывистой и постоянной вечной мерзлоты, согласно прогнозу, сместится на север на несколько сотен километров – в результате исчезнет большая область современной прерывистой вечной мерзлоты. Во многих областях вечной мерзлоты также, вероятно, будут наблюдаться явления термокарста (образование кратеров и озер при разрушении грунта из-за таяния) на все более обширной территории и возрастет неустойчивость склонов.

Смещение экосистем

Прогнозируются большие изменения в распространении экосистем. Очень вероятно, произойдет сокращение зоны арктической тундры из-за смещения на север границы лесной зоны, в некоторых областях на расстояния до 750 км. В последние десятилетия редкие группы деревьев на краю тундры в северо-восточной Канаде уже начали сгущаться, образуя плотные группы, которые больше не соответствуют особенностям зоны тундры. В регионе распространяются болезни леса, вызываемые насекомыми, пожарами и стрессами у деревьев – вследствие недавних умеренных зим и повышения температуры воздуха в вегетационный период. Очень вероятно, что состояние леса будет ухудшаться как отклик на региональное потепление.

Изменения в сроках доступа к корму и его количества, атаки насекомых, инфицирования паразитами будут увеличивать нагрузки на северного оленя, с тенденцией сокращения его популяции. Из-за неблагоприятных снежных условий возможности карibu Пири и овцебыка к прокорму становятся все более и более ограниченными. На севере материка численность этих животных будет сокращаться, с возможным вымиранием в некоторых областях. Фрагментарность суши архипелага и наличие обширных ледников в высоких широтах в этом регионе ограничивают возможности перемещения для многих сухопутных видов, стимулированного изменением климата, что подвергает их большому риску, чем если бы они обитали на материке. В Западной Гренландии потеря среды обитания, перемещение видов и миграция новых видов с юга будут приводить к сокращению существующего биоразнообразия.

При наличии подходящих путей миграции и условий обитания ареалы распространения многих видов рыб в озерах и реках, вероятно, будут смещаться на север. Виды рыб южной части района, такие как атлантический лосось и речная форель, очень вероятно, будут распространяться к северу через прибрежные морские воды, где они будут конкурировать с более северными видами, такими как арктический голец, что приведет к вымиранию этих местных видов. Популяции многих морских млекопитающих, вероятно, сократятся, поскольку сокращается морской лед. Сокращение ледового сезона повлечет сокращение популяции белых медведей, особенно вдоль южных границ их ареалов. Если Северный Ледовитый океан будет оставаться летом безо льда в течение нескольких лет подряд, то, вероятно, это приведет к исчезновению белых медведей.



...На Экономику

Рост судоходства

Как убытки, так и прибыли от продления сроков навигации в районах Канадской Арктики, вероятно, будут значительными, хотя сейчас все это представляется достаточно умозрительным. Рост судоходства в Северо-Западном Проходе, предоставляя новые экономические возможности, также увеличит риски и потенциальную опасность для окружающей среды из-за возможных разливов нефти и других загрязнителей. Увеличение высоты волн и возможные наводнения с угрозой разрушения береговых сооружений, вероятно, потребуют все возрастающих затрат. Ускоренная седиментация вследствие увеличения периодов открытой воды может увеличить затраты на дноуглубительные работы.

Изменения рыбных промыслов

Согласно сценарию умеренного потепления, треска и мойва, вероятно, сместятся на север района, в то время как численность северной креветки и снежного краба сократится. Многие существующие сейчас отмели, где нерестится мойва, могут исчезнуть с ростом уровня моря, что может снизить выживаемость этого вида рыбы. У тюленей, как ожидается, будет наблюдаться более высокая смертность детенышей вследствие уменьшения толщины морского льда и увеличения интенсивности штормов. Сокращение площади и продолжительности существования морского льда, вероятно, позволит ловить рыбу дальше на севере, хотя это также может снизить уловы гренландского палтуса, который вылавливается с припая.

В реках и озерах продуктивность пресноводных рыб, вероятно, сначала возрастет из-за потепления среды обитания и роста количества питательных веществ. Однако, при достижении критических пороговых значений (термических границ), численность арктических видов, согласно оценкам, сократится, а некоторые из них составляют основу питания коренного населения. Нарушение оптимальных тепловых условий среды обитания для таких рыб, как озерная форель, приведет к снижению скорости роста и сокращению многих популяций, с последствиями для спортивного рыболовства и туризма.

Воздействие на инфраструктуру

Использование ледовых дорог в прибрежных районах и перевозки по снегу, имеющие сейчас важное значение, уже испытывают воздействие потепления климата и, вероятно, будет далее сокращаться из-за таяния грунта, уменьшения снежного покрова и укорочения ледового сезона. Более высокая температура воздуха, вероятно, будет снижать потребности в энергии для обогрева зданий. Сезон летнего строительства, как ожидается, станет более продолжительным. По крайней мере, в течение следующих 100 лет негативные воздействия ожидаются, главным образом, для существующей инфраструктуры, такой как северные трубопроводы, свайные фундаменты на вечной мерзлоте, мосты, переходы трубопроводов через реки, дамбы и т.п.

...На жизнь людей

Воздействия на коренные народы

На здоровье коренных народов, вероятно, окажут влияние изменения привычного питания, социальные, культурные и другие воздействия, которые ожидаются благодаря климатическим изменениям — многие из них уже наблюдаются. Изменение климата окажет влияние на распространение, качество животных и других ресурсов, на которых базируется здоровье и образ жизни многих северных сообществ. Более короткий зимний сезон, растущее число снегопадов, менее сплоченный и более тонкий морской лед, вероятно, снизят возможности для коренных народов охотиться и ставить капканы. Угроза выживанию белых медведей и тюленей вызывает основное беспокойство в этом регионе.

Возможности адаптации к изменению климата ограничиваются существующим социальным и экономическим положением коренных народов. Например, в прошлом, инуиты могли кочевать, следуя за перемещениями животных. Теперь инуиты живут оседло в поселках, что исключает такую возможность. Воздействия изменения климата на коренные народы усугубляют и другие факторы, среди которых регулирование ресурсов, развитие промышленности и зависимость от глобальной экономики. Возможность увеличения морского доступа к некоторым региональным ресурсам по Северо-Западному Проходу, при обеспечении экономических выгод, может также породить проблемы для коренных народов этого региона, так как рост промышленной активности может негативно повлиять на привычный уклад жизни.

“Произошли настолько сильные изменения, что в течение самого холодного месяца, декабря 2001 года, ливневые дожди в районе Туле были настолько интенсивными, что образовался толстый слой прочного льда на поверхности морского льда и поверхности земли... что было очень плохо для лап наших ездовых собак”.

Усаккак Оуяукитсок
Оаанаак Гренландия



Уточнение оценок будущего

Данная работа представляет собой первую попытку создания полного описания изменения климата и его воздействий в Арктике. Таким образом, это только начало процесса. Отчет объединил выводы сотен ученых всего мира, занимающихся исследованием Арктики. Он также включил уникальные знания коренных народов, глубоко понимающих природу вследствие их длительного проживания в этом регионе и накопленного опыта. Объединение научных оценок и предвидений коренных народов все еще находится на ранних стадиях, но, несомненно, обладает потенциалом для улучшения понимания изменения климата и его воздействий. Большой опыт был накоплен в процессе подготовки отчета, хотя еще очень много остается проблем, которые должны быть дополнительно исследованы и лучше поняты. Этот процесс следует продолжить с акцентом на снижение неопределенностей, заполнение пробелов в знаниях, выявленных во время работы, с более детальным описанием явлений, которые связаны с изменением климата и его воздействиями.

При критическом анализе результатов АСИА видны как достижения, так и недостатки. В работе рассмотрен широкий диапазон потенциальных воздействий на окружающую среду в масштабах Арктики. Однако, оценивание экономических воздействий и воздействий на региональном уровне было выполнено достаточно поверхностно, поэтому дальнейшее развитие таких оценок должно стать приоритетной задачей в будущем. Исследования, которые рассматривают воздействия от изменений климата совместно с эффектами, обусловленными другими нагрузками (и, таким образом, оценивают суммарную уязвимость сообществ), при подготовке этого отчета были выполнены только предварительно.

В пределах отчета чередуются наши понимания явлений и наши пробелы в знаниях. Не все аспекты требуется полностью переоценивать, и не все аспекты нуждаются в оценке одновременно — некоторые научные разработки и некоторые изменения в окружающей среде происходят дольше, чем другие. Таким образом, в качестве будущих приоритетов для анализа поддержаны три главных направления: региональные воздействия, социально-экономические воздействия и оценки уязвимости. Все они подразумевают развитие понимания воздействий на общество. В каждой из этих областей привлечение ряда экспертов и заинтересованных лиц, в особенности арктических коренных сообществ, могли бы помочь заполнить пробелы в знаниях и предоставить соответствующую к делу информацию для политиков всех уровней.

Региональные воздействия: Необходимо выполнить оценки для небольших регионов, может быть на локальном уровне, где оценка воздействий изменения климата является наиболее актуальной и полезной для местных жителей и их деятельности.

Социально-экономические воздействия: Важные сектора экономики Арктики включают нефтяную, газовую, горнодобывающую и лесную промышленность, транспорт, рыболовство и туризм. Большая часть этих секторов будет испытывать прямые и косвенные воздействия, обусловленные изменением климата, но в большинстве случаев в настоящее время только качественная информация об экономических воздействиях является доступной.

Оценки уязвимости: Уязвимость — это степень, до которой система является восприимчивой к неблагоприятным эффектам многочисленных взаимодействующих нагрузок. Проведение оценки уязвимости потребует знаний не только о последствиях нагрузок и их взаимодействиях, но также о способности систем адаптироваться.

Для решения этих трех приоритетных задач потребуется ряд мер по совершенствованию долгосрочного мониторинга, исследованию процессов, моделированию климата и исследованию воздействий на общество.

Долгосрочный мониторинг: Долгопериодные временные климатические ряды и ряды связанных с климатом параметров доступны только для нескольких районов в Арктике. Продолжение долгопериодных рядов является критически важной задачей, наряду с переоснащением и распространением систем наблюдения для мониторинга свойств снега и льда, стока крупнейших рек, параметров океана и изменений в растительности, биоразнообразия и процессов в экосистемах.

Исследования процессов: Многие арктические процессы требуют дальнейшего изучения как с помощью научных исследований, так и и путем более детального и систематического документирования знаний коренных на-

родов. Приоритетными являются сбор и интерпретация данных, связанных с климатом и природой, исследования скоростей и диапазонов изменений для растений, животных, а также функционирования экосистем. Такие исследования часто используют объединение климатических моделей с моделями процессов в экосистемах и других элементов арктической системы.

Моделирование: Требуется улучшение моделей арктического климата и его воздействий, включая описание процессов перемешивания в океане, процессов в морском льде, процессов в системе вечная мерзлота-почва-растительность и важных обратных связей, а также описание экстремальных явлений. Требуются совершенствование моделей, их проверка в рамках научных дисциплин, объединение моделей из разных дисциплин. Развитие, верификация и применение совместных региональных моделей с очень высоким разрешением для повышения качества прогнозов региональных изменений климата могло бы также предоставить более полезную информацию местным администрациям.

Анализ воздействий на общество: Совершенствование прогнозов последствий изменения климата на общество будет частично зависеть от прогресса в моделировании климата, упомянутого выше, также как от разработки более совершенных сценариев демографического и экономического развития в Арктике, развития и применения сценариев воздействия, улучшения связи между научным знанием и опытом коренных народов и более полной идентификации и оценки потенциальных мер по ограничению изменения климата и по адаптации к ним.

Распространение результатов исследований в Арктике

Поиск эффективных путей предоставления информации, собранной в процессе АСИА, арктическим сообществам является дополнительной проблемой, которую надо решить. Множество научных, правительственных и неправительственных организаций будут доводить результаты процесса АСИА до большого числа пользователей — тех, кто живет и работает на земле и тех, кто вырабатывает локальные, национальные и международные политические решения, связанные с проблемой климата.

Международные связи

Программа АСИА построена на оценках, подготовленных Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК), которая оценила и обобщила наиболее авторитетную в мире информацию по вопросам глобального изменения климата и его воздействий. Самый последний отчет МГЭИК, Третий Доклад по оценке, был выпущен в 2001 году. Следующий отчет МГЭИК находится на ранней стадии подготовки и планируется для публикации в 2007 году. Подобно тому, как программа АСИА основывается на предыдущих оценках МГЭИК, подготовка отчета МГЭИК 2007 года будет основываться на результатах АСИА для арктического региона, что придаст результатам более глобальный контекст.

Существуют также другие национальные и международные программы, важные для дальнейшего понимания воздействий изменения климата и ультрафиолетовой радиации. Например, Программа ООН по окружающей среде и Всемирная Метеорологическая Организация занимаются оценкой сокращения озонового слоя и его последствий. Международный Полярный Год (МПГ), планирование которого начато мировым научным сообществом, к 2007—2008 гг. предоставит еще одну возможность исследований изменения климата и других важных арктических проблем. Проведенный в 1957—1958 годах Международный геофизический год инициировал первые систематические измерения стратосферного озона и атмосферного углекислого газа и, таким образом, положил основу для обнаружения уменьшения слоя озона и изменения климата, обусловленных парниковым эффектом. Без этих наблюдений, проводящихся на протяжении нескольких десятилетий, не могли бы быть выявлены тренды уменьшения стратосферного озона и роста атмосферного углекислого газа.

Пробелы в знаниях и потребности в более совершенном мониторинге, выявленные в ходе процесса АСИА, уже оказывают влияние на планирование международных исследований. Одна из приоритетных задач, уже утвержденная для приближающегося МПГ, заключается в изучении и оценке текущего и будущего изменения климата в полярных регионах и оценке глобального воздействия от этого изменения. Выводы АСИА могут помочь направить в нужное русло исследовательские проекты МПГ и другие программы. В свою очередь, исследования, начатые другими программами, могут помочь восполнить пробелы, которые выявила АСИА, с тем, чтобы выполнить более детальные оценки изменения климата для Арктики.

Заключительные размышления

Как показывают научные результаты, содержащиеся в этом отчете, изменение климата представляет собой главный и возрастающий вызов Арктике и миру в целом. В то время, как обеспокоенность, порождаяемая этим вызовом, и сейчас является значительной, воздействия изменения климата даже более важны для будущих поколений, которые будут наследовать плоды современных действий или бездействия. Значительные усилия потребуются в ближайшее время по снижению эмиссий, чтобы изменить тенденцию будущего потепления, вызванного антропогенными факторами. Принятие соответствующих мер является также необходимым для начала адаптации к потеплению, которое уже наблюдается и будет продолжаться. Выводы этого первого отчета по оценке климатических воздействий в Арктике предоставляют научную основу, которую политики могут использовать для рассмотрения, подготовки и реализации соответствующих действий в ответ на этот важный и далеко идущий вызов.



Изменение создает риски и предоставляет возможности

Как показано в этом отчете, изменение климата, очень вероятно, приведет к серьезным изменениям окружающей среды, что создаст как риски, так и новые возможности для всего Арктического региона. Например, значительное сокращение морского льда летом угрожает будущему некоторых зависящих от льда видов, включая белых медведей и тюленей и, таким образом, населению, которое зависит от них. С другой стороны, вероятно, появятся новые потенциальные возможности в результате расширения морского доступа к ресурсам, населенным центрам и отдаленным рынкам через трансарктические судоходные пути.

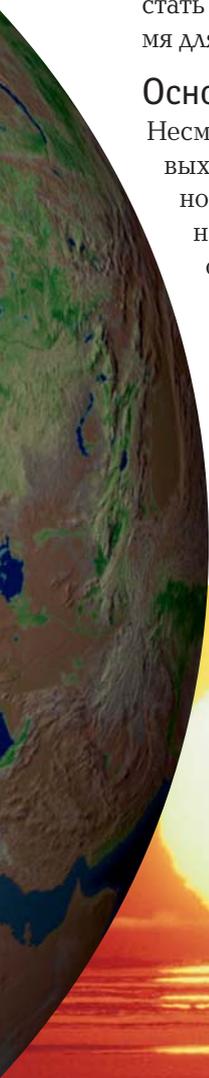
Потенциальные сюрпризы

Некоторыми из связанных с климатом изменений в арктической окружающей среде, которые, наиболее вероятно, будут наблюдаться и, как ожидается, будут иметь наиболее значительные воздействия, являются сокращение морского льда, усиление береговой эрозии и таяние вечной мерзлоты. Кроме этого, могут появиться другие проблемы, порождаемые возможными следствиями этих изменений. Хотя их появление маловероятно, но может иметь очень серьезные последствия — так называемые “сюрпризы”. Так как земная система очень сложна, возможно, что изменение климата будет развиваться по другому сценарию, отличному от сценариев постепенного изменения, использованных в настоящем отчете. Например, интенсивность и траектории циклонов, возможно, изменятся непредвиденным образом, или температура может повышаться или падать из-за неожиданных хаотических возмущений глобальных погодных систем. Возможные изменения в океанической термохалинной циркуляции и широкое распространение таких изменений представляют другой пример потенциального климатического сюрприза. Хотя такие изменения могут стать причиной сильных воздействий, очень мало информации доступно в настоящее время для рассмотрения таких возможностей.

Основной итог

Несмотря на тот факт, что относительно небольшой процент мировой эмиссии парниковых газов формируется в Арктике, изменение климата Арктики, обусловленное деятельностью человека, является одним из самых значительных на Земле. Как следствие, изменения уже происходят в арктических ландшафтах, сообществах, и уникальные особенности Арктики обеспечивают раннюю индикацию значимости глобального изменения климата для окружающей среды и общества. Как показано в этом отчете, изменение климата и его воздействие в Арктике уже широко отмечается и ощущается и, согласно оценкам, станет намного больше. Изменения будут также проявляться далеко от Арктики, воздействуя на глобальный климат, уровень моря, биоразнообразие и многие аспекты человеческих социальных и экономических систем. Изменение климата в Арктике, таким образом, заслуживает и требует неотложного внимания политиков и мировой общественности.

*Тренды
не являются судьбой.*
Рене Дюбо



Приложение – 1

Сценарии эмиссии, использованные при выполнении данной оценки

В своем Специальном Докладе о Сценариях Выбросов (Special Report on Emissions Scenarios (SRES)), МГЭИК представила широкий диапазон вероятных сценариев эмиссий для 21-го столетия, основанных на различных допущениях относительно будущих уровней численности населения, экономического роста, технологического развития и на других соответствующих факторах. Из шести "иллюстративных сценариев", представленных в SRES, в АСИА отдано предпочтение одному из них, тому, который дает эмиссию немного ниже середины диапазона будущих эмиссий. Этот сценарий, называемый В2, является основой для прогностических климатических карт в этом отчете. Второй сценарий, А2, который попадает выше середины диапазона SRES, был также использован в нескольких исследованиях, с обязательным упоминанием об этом. Выбор этих сценариев отражает множество практических ограничений при проведении этой оценки, причем из этого не следует делать вывод, что эти сценарии представляют наиболее вероятный прогноз.

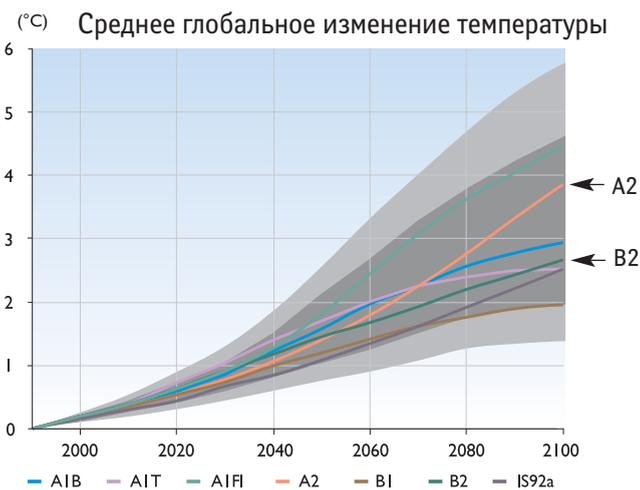
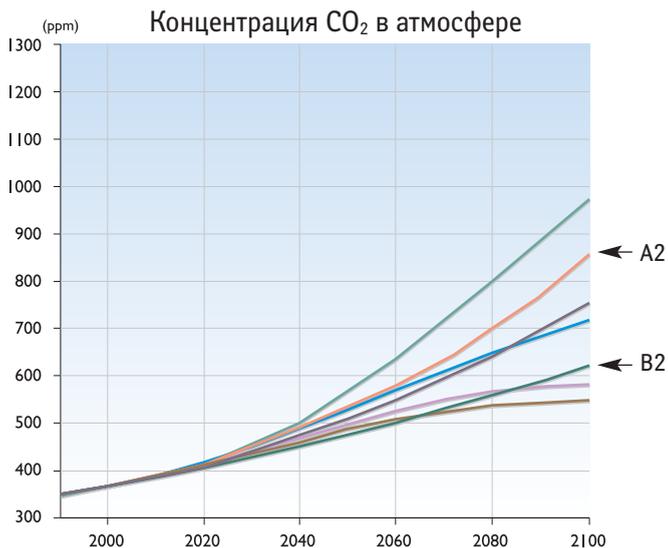
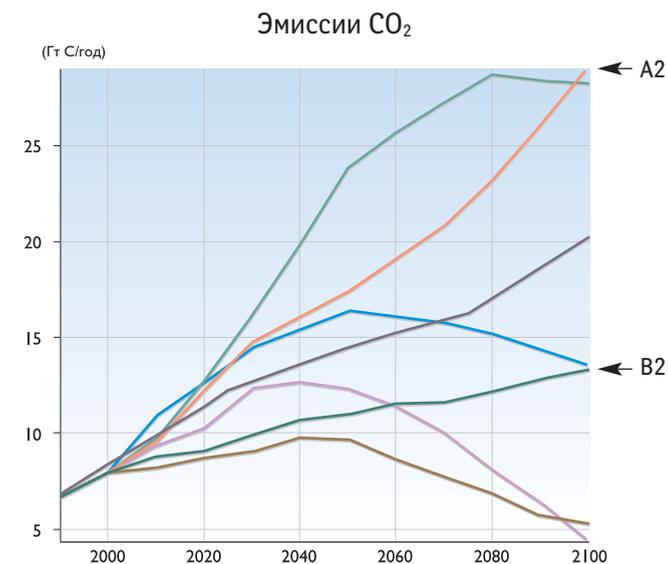
Согласно всем сценариям эмиссий МГЭИК, в течение 21-го столетия прогнозируется повышение глобального значения концентрации диоксида углерода, средней приземной температуры воздуха и уровня моря. В период с 2000 по 2100 год оценка потепления, полученная по этим сценариям составит от 1,4 до 5,8°C. Ни один из этих сценариев не учитывает явно последствия политических решений по снижению эмиссии парниковых газов. С другой стороны, сценарии включают допущения, которые учитывают основные отличия от существующего состояния по другим причинам, отличным от тех, которые ограничивают изменения климата, и эти различные факторы влияют на результирующие уровни эмиссии парниковых газов.

Например, сценарий эмиссий В2 допускает, что мировое сообщество может быть обеспокоено проблемами защиты окружающей среды и социальной справедливости, вследствие чего могут последовать решения с последствиями для локального и регионального уровней. Это мир, в котором население планеты растёт до 10,4 миллиардов человек к 2100 году, существует промежуточный уровень развития экономики, и происходят различные технологические изменения. По сценарию В2 в мире к 2100 году уголь будет обеспечивать 22% первичной энергии, и 49% мировой энергии будут получать от источников, которые не выбрасывают двуокись углерода.

Сценарий А2 также описывает мир, сутью которого являются уверенность в своих силах и сохранение индивидуальности на локальном уровне, но, в отличие от В2, мир сценария А2 более сосредоточен на экономическом росте, чем на защите окружающей среды и социальной справедливости. Прирост населения происходит быстро, обеспечивая численность населения в 15 миллиардов человек к 2100 году. Экономическое развитие ориентировано преимущественно на развитие регионов, и экономический рост на душу населения и технологические изменения происходят относительно медленно и носят фрагментарный характер. Мировой валовой национальный продукт будет немного выше в 2100 г. в сценарии А2, чем в В2. Уголь обеспечит 53% мировой первичной энергии в 2100 году в сценарии мира А2, и 28% мировой энергии будет вырабатываться от источников, которые не выбрасывают двуокись углерода.

Были разработаны другие сценарии эмиссии, рассматривающие последствия принятия мер, которые могли бы сократить эмиссии парниковых газов настолько, чтобы стабилизировать их концентрации в атмосфере на различных уровнях и, таким образом, ограничить скорость и величину будущего изменения климата. Такие сценарии не рассматривались при подготовке данного отчета.

Прогнозы по шести иллюстративным сценариям эмиссий



Основные модели, использованные при выполнении оценки климатических воздействий в Арктике

CGCM2 – Канадский центр по моделированию и анализу климата, Канада
 CSM_1.4 – Национальный центр атмосферных исследований, США
 ECHAM4/OPYC3 – Метеорологический институт Макса Планка, Германия
 GFDL-R30_c – Лаборатория геофизической гидродинамики, США
 HadCM3 – Хэдли центр по прогнозированию и исследованию климата, Великобритания

Для проведения данной оценки были использованы пять климатических моделей ведущих климатических центров мира. Их названия и соответствующая аббревиатура, используемые в данном отчете, приведены выше. Все эти модели использовали для расчетов один и тот же сценарий эмиссий B2, описание которого приведено в настоящем Приложении. Климатические карты, приведенные в данном отчете, построены на основе результатов этих моделей, полученных для сценария эмиссий B2.

На первом графике (вверху) показаны прогнозируемые эмиссии CO₂ для шести иллюстративных сценариев МГЭИК SRES. На втором графике (посередине) приведены концентрации CO₂ в атмосфере, которые будут получены при реализации этих эмиссий.

Третий график (внизу) показывает прогнозируемые тренды температуры, соответствующие этим уровням концентраций.

Приложение - 2

Заголовки глав полного научного отчета и их авторы

- Глава 1: Введение
- Глава 2: Климат Арктики - прошлое и настоящее
- Глава 3: Меняющаяся Арктика: перспективы коренных народов
- Глава 4: Будущие изменения климата: моделирование и сценарии для арктического региона
- Глава 5: Озон и ультрафиолетовая радиация
- Глава 6: Изменчивость криосферы и гидросферы
- Глава 7: Экосистемы арктической тундры и полярной пустыни
- Глава 8: Пресноводные экосистемы и рыболовство
- Глава 9: Морские экосистемы
- Глава 10: Принципы сохранения арктического биоразнообразия
- Глава 11: Управление дикой природой и ее сохранение в условиях изменяющейся окружающей среды Арктики
- Глава 12: Охота, оленеводство, рыболовство и собирательство: коренные народы и использование возобновляемых ресурсов в Арктике
- Глава 13: Рыболовство и аквакультура
- Глава 14: Лесное хозяйство, использование земель и сельское хозяйство
- Глава 15: Здоровье человека
- Глава 16: Инфраструктура: здания, системы обеспечения и промышленные объекты
- Глава 17: Изменения климата в условиях многочисленных нагрузок и способности к восстановлению
- Глава 18: Заключение и выводы

Глава 1: Введение

Ведущий автор

Генри Хантингтон, Хантингтон Консалтинг, США

Авторы

Элизабет Буш, Министерство окружающей среды, Канада

Терри В. Каллахэн, Научно-исследовательская станция в Абиско, Швеция; Шеффилдский Центр экологии Арктики, Великобритания

Владимир М. Катцов, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Россия

Марк Наттелл, Университет Абердина, Шотландия, Великобритания; Университет Альберты, Канада.

Глава 2: Климат Арктики - прошлое и настоящее

Ведущий автор

Гордон Макбин, Университет Западного Онтарио, Канада

Авторы

Генрих В. Алексеев, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Россия

Делианг Чен, Гетеборгский университет, Швеция

Эрик Форланд, Норвежский метеорологический институт, Норвегия

Джон Файф, Метеорологическая служба Канады, Канада

Павел Я. Гройсман, Национальный центр климатических данных НОАА, США

Роджер Кинг, Университет Западного Онтарио, Канада

Хэмфри Меллинг, Департамент по рыболовству и океанам Канады, Канада

Расселл Воуз, Национальный центр климатических данных НОАА, США

Пол Уитфилд, Метеорологическая служба Канады, Канада

Глава 3: Меняющаяся Арктика: перспективы коренных народов

Ведущий автор

Генри Хантингтон, Хантингтон Консалтинг, США

Шери Фокс, Университет Колорадо в Боулдере, США

Авторы

Фикрет Беркес, Университет Манитобы, Канада

Игорь Крупник, Смитсоновский институт, США

Авторы местных исследований

Коцебу:

Алекс Вайтинг, поселение коренных народов Коцебу, США

Район островов Алеутских и Прибылова, Аляска:

Майкл Захароф, Международная Ассоциация алеутов, США

Грег Макглешэн, Офис родовых экосистем Сент-Джордж, США

Майкл Брубакер, Ассоциация островов Алеутских и Прибылова, США

Виктория Гофман, Международная Ассоциация алеутов, США

Территория Юкон

Синди Диксон, Совет атабасков Арктики, Канада

Денендех:

Крис Паки, Совет атабасков Арктики, Канада

Ширли Цетта, Еллоунайфс Дене (Ндило), Канада

Сэм Гарган, Дех Гах Готин (Форт Провиденс), Канада

Шеф Рой Фабиан, Катлудичи (заповедник Хей Ривер Дене), Канада

Шеф Джерри Пауллетт, Поселение коренных народов Смит Лэндинг, Канада

Вице-шеф Майкл Казон, Поселение коренных народов Дех Чо, Канада

Диан Жиру, бывший вице-шеф Денину К-Уе (Форт Резольюшн), Канада

Пит Кинг, Территория Элдер Акайтчо, Канада

Морис Буше, Денину К-Уе (Форт Резольюшн), Канада

Луи Абль, Территория Элдер Акайтчо, Канада

Жан Норен, Территория Элдер Акайтчо, Канада

Агата Лабукан, Лутсельке, Канада

Филлип Чизи, Территория Элдер Акайтчо, Канада

Джозеф Пуатра, Элдер, Канада

Флора Абрахам, Элдер, Канада

Авторы научных глав

Бэлла Цели, Совет Сахту Дене, Канада
Джим Пьерро, Элдер Сахту, Канада
Пол Котчилли, Элдер Сахту, Канада
Джордж Лафферти, Правительство Тличо, Канада
Джеймс Рабеска, Правительство Тличо, Канада
Эдди Камил, Элдер Тличо, Канада
Джон Эдвардс, Совет племени гвичинов, Канада
Джон Кармайкл, Элдер Гвичин, Канада
Вуди Элиас, Элдер Гвичин, Канада
Элисон де Полхэм, Поселение коренных народов Дех Чо, Канада
Лаура Питканен, Поселение коренных народов Дех Чо, Канада
Лео Норведжиан, Элдер Дех Чо, Канада

Нунавут:

Шери Фокс, Университет Колорадо в Боулдере, США

Каанаак, Гренландия:

Усаккак Куяукитсок, Циркумполярная конференция инуитов, Гренландия

Нука Меллер, Циркумполярная конференция инуитов, Гренландия

Саами:

Теро Мустонен, Тампере Политехник/Сноучейндж Проект, Финляндия

Мика Ниеминен, Тампере Политехник/Сноучейндж Проект, Финляндия

Ханна Эклунд, Тампере Политехник/Сноучейндж Проект, Финляндия

Изменения климата и Саами:

Элина Хеландер, Лапландский университет, Финляндия

Кола:

Теро Мустонен, Тампере Политехник/Сноучейндж Проект, Финляндия

Сергей Завалко, Мурманский государственный технический университет, Россия

Юрки Терва, Тампере Политехник/Сноучейндж Проект, Финляндия

Алексей Черенков, Мурманский государственный технический университет, Россия

Авторы-консультанты

Анне Хеншоу, Боудоин Колледж, США

Терри Фендж, Циркумполярная конференция инуитов, Канада

Скот Никкелс, Инуит Тапириит Канатами, Канада

Симон Вилсон, Программа арктического мониторинга и оценки, Норвегия

Глава 4: Будущие изменения климата: моделирование и сценарии для арктического региона

Ведущие авторы

Эрланд Шаллен, Стокгольмский университет, Швеция

Владимир М. Катцов, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Россия

Авторы

Ховард Кэттл, Международный офис проекта КЛИВАР, Великобритания

Йенс Христенсен, Датский метеорологический институт, Дания

Хельге Дранге, Нансеновский центр по изучению окружающей среды

и дистанционному зондированию и Бьеркнесовский центр климатических исследований, Норвегия

Ингер Ханссен-Бауэр, Норвежский метеорологический институт, Норвегия

Томас Йоханнесен, Исландская метеорологическая служба, Исландия

Игорь Кароль, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Россия

Йоуни Ряйсянен, Хельсинский университет, Финляндия

Гунилла Свенссон, Стокгольмский университет, Швеция

Станислав Вавулин, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Россия

Авторы-консультанты

Делианг Чен, Гетеборгский университет, Швеция

Игорь Поляков, Университет Аляски Фэрбанкс, США

Аннет Ринке, Институт полярных и морских исследований Альфреда Вегенера, Германия

Глава 5: Озон и ультрафиолетовая радиация

Ведущие авторы

Бетси Уэзерхед, Университет Колорадо в Боулдере, США
 Аапо Тансканен, Финский метеорологический институт, Финляндия
 Эми Стивермер, Университет Колорадо в Боулдере, США

Авторы

Сигне Беч Андерсен, Датский метеорологический институт, Дания
 Анти Арола, Финский метеорологический университет, Финляндия
 Джон Остин, Университетская корпорация атмосферных исследований / Лаборатория геофизической гидродинамики, США
 Гермар Бернхард, Байосферикэл Инструментс Инк., США
 Ховард Броуман, Институт морских исследований, Норвегия
 Виталий Фиолетов, Метеорологическая служба Канады, Канада
 Фолкер Греве, Институт физики атмосферы Немецкого аэрокосмического центра, Германия
 Джей Херман, Годдардский Центр космических полетов НАСА, США
 Уэйн Джозефссон, Шведский метеорологический и гидрологический институт, Швеция
 Арве Киллинг, Норвежский институт атмосферных исследований, Норвегия
 Эско Киро, Финский метеорологический институт, Финляндия
 Андерс Линдфорс, Астрономическая обсерватория в Упсале, Швеция
 Дрю Шинделл, Годдардский Центр космических полетов НАСА, США
 Петтери Таалас, Финский метеорологический институт, Финляндия
 Дэвид Тарасик, Метеорологическая служба Канады, Канада

Авторы-консультанты

Валерий Дорохов, Центральная аэрологическая лаборатория, Россия
 Бьерн Джонсен, Норвежское управление по радиационной защите, Норвегия
 Юсси Каурола, Финский метеорологический институт, Финляндия
 Ригель Киви, Финский метеорологический институт, Финляндия
 Николай Кротков, Годдардский Центр космических полетов НАСА, США
 Кайса Лаккала, Финский метеорологический институт, Финляндия
 Жаклин Ленобль, Университет Наук и Технологий Лиля, Франция
 Дэвид Слини, Центр по укреплению здоровья и превентивной медицины армии США, США

Глава 6: Изменчивость криосферы и гидросферы

Ведущий автор

Джон Уолш, Университет Аляски Фэрбанкс, США

Авторы

Олег А. Анисимов, Государственный гидрологический институт, Россия
 Ен Ове М. Хаген, Университет Осло, Норвегия
 Тор Якобссон, Исландский метеорологический офис, Исландия
 Йоханес Оерлеманс, Университет Утрехта, Нидерланды
 Терри Праус, Университет Виктории, Канада
 Владимир Романовский, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
 Нина Савельева, Тихоокеанский океанологический институт, Россия
 Марк Серрез, Университет Колорадо в Боулдере, США
 Александр Шикломанов, Университет Нью-Хемпшира, США
 Игорь Шикломанов, Государственный гидрологический институт, Россия
 Стивен Соломон, Геологическая служба Канады, Канада

Авторы-консультанты

Энтони Арендт, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
 Майкл Н. Демут, Канадские природные ресурсы, Канада
 Джулиан Доудесвелл, Институт полярных исследований Скотта, Великобритания
 Марк Дюргеров, Университет Колорадо в Боулдере, США
 Андрей Глазовский, Институт географии РАН, Россия
 Рой М. Кернер, Геологическая служба Канады, Канада
 Нильс Ри, Технический университет Дании, Дания
 Оддур Сиггурдсон, Национальное энергетическое управление, Гидрологическая служба, Исландия
 Конрад Стеффен, Университет Колорадо в Боулдере, США
 Мартин Траффер, Университет Аляски, Фэрбанкс, США

Глава 7: Экосистемы арктической тундры и полярной пустыни

Ведущий автор

Терри В. Каллахэн, Научно-исследовательская станция в Абиско, Швеция; Шеффилдский Центр экологии Арктики, Великобритания

Авторы

Ларс Олоф Бьорн, Университет Лунда, Швеция

Ф. Стьюарт Чапин III, Университет Аляски, Фэрбанкс, США

Юрий Чернов, Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А.Н. Северцова РАН, Россия

Торбен Р. Кристенсен, Университет Лунда, Швеция

Брайен Хантли, Университет Дархэма, Великобритания

Рольф Имс, Университет Тромсе, Норвегия

Маргарита Йоханссон, Научно-исследовательская станция в Абиско, Швеция

Дианна Джолли Ридлингер, Дианна Джолли Консалтинг, Новая Зеландия

Свен Йонассон, Копенгагенский университет, Дания

Надежда Матвеева, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Россия

Вальтер Оечел, Государственный университет Сан-Диего, США

Николай Паников, Стивенсовский технический университет, США

Гус Шавер, Морская биологическая лаборатория, США

Авторы-консультанты

Джозеф Элстер, Университет Южной Богемии, Чешская республика

Хейки Хенттонен, Финский институт исследования леса, Финляндия

Ингеборг С. Йонсдоттир, Университет Шпицбергена, Норвегия

Кари Лэйни, Университет Оулу, Финляндия

Сибилл Шепхофф, Потсдамский институт по исследованию климатических воздействий, Германия

Стефен Ситч, Потсдамский институт по исследованию климатических воздействий, Германия

Эрья Таулавуори, Университет Оулу, Финляндия

Кари Таулавуори, Университет Оулу, Финляндия

Кристоф Зеклер, Мировой центр сохраняющего мониторинга ЮНЕП, Великобритания

Глава 8: Пресноводные экосистемы и рыболовство

Ведущие авторы

Фред Дж. Врона, Национальный институт водных исследований, Канада

Терри Д. Праус, Национальный институт водных исследований, Канада

Джеймс Д. Рейст, Департамент по рыболовству и океанам Канады, Канада

Авторы

Ричард Бимиш, Департамент по рыболовству и океанам Канады, Канада

Джон Дж. Гибсон, Национальный институт водных исследований, Канада

Джон Хобби, Морская биологическая лаборатория, США

Эрик Йеппесен, Национальный институт исследований окружающей среды, Дания

Джеки Кинг, Департамент по рыболовству и океанам Канады, Канада

Гюнтер Коек, Университет Инсбрука, Австрия

Атте Корхола, Хельсинский университет, Финляндия

Люси Левеск, Национальный институт водных исследований, Канада

Роб Макдональд, Департамент по рыболовству и океанам Канады, Канада

Майкл Пауэр, Университет Ватерлоо, Канада

Владимир Скворцов, Лимнологический институт СО РАН, Россия

Ворвик Винсент, Университет Лавале, Канада

Авторы-консультанты

Роберт Кларк, Канадская служба дикой природы, Канада

Брайен Демпсон, Департамент по рыболовству и океанам Канады, Канада

Дэвид Лин, Университет Оттавы, Канада

Ханну Лехтонен, Хельсинский университет, Финляндия

София Перэн, Университет Оттавы, Канада

Ричард Пиениц, Университет Лавале, Канада

Мила Ротио, Университет Лавале, Канада

Джон Смол, Квинс Университет, Канада
 Росс Толлман, Департамент по рыболовству и океанам Канады, Канада
 Александр Жулидов, Центр подготовки и реализации международных проектов технического содействия, Россия

Глава 9: Морские экосистемы

Ведущий автор

Харальд Лоенг, Институт морских исследований, Норвегия

Авторы

Кейт Брандер, Международный совет морских изысканий, Дания
 Эдди Кармак, Институт исследования океана, Канада
 Станислав Денисенко, Зоологический институт РАН, Россия
 Кен Дринквотер, Бедфорский институт океанографии, Канада
 Боги Хансен, Лаборатория рыболовства, Фарерские острова
 Кит Ковакс, Норвежский полярный институт, Норвегия
 Пэт Ливингстон, Национальная служба морского рыболовства НОАА, США
 Фиона Маклафлин, Институт исследования океана, Канада
 Эгил Сакшауг, Норвежский университет науки и технологии, Норвегия

Авторы-консультанты

Ричард Беллерби, Бьеркнесовский центр исследований климата, Норвегия
 Ховард Броуман, Институт морских исследований, Норвегия
 Торе Фуревик, Университет Бергена, Норвегия
 Жаклин М. Гребмейер, Университет Теннесси, США
 Эйштейн Янсен, Бьеркнесовский центр исследований климата, Норвегия
 Штейнгримур Йонссон, Институт морских исследований, Исландия
 Лиз Линдал Йоргенсен, Институт морских исследований, Норвегия
 Свенд-Ааге Малберг, Институт морских исследований, Исландия
 Свейн Остерхус, Бьеркнесовский центр исследований климата, Норвегия
 Гейр Оттерсен, Институт морских исследований, Норвегия
 Кожи Шимада, Японский центр морских наук и технологий, Япония

Глава 10: Принципы сохранения арктического биоразнообразия

Ведущий автор

Майкл Б. Ашер, Университет Стирлинга, Шотландия, Великобритания

Авторы

Терри В. Каллахэн, Научно-исследовательская станция в Абиско, Швеция; Шеффилдский Центр экологии Арктики, Великобритания
 Грант Гилкрист, Канадская служба дикой природы, Канада
 О.В. Хил, Университет Дархэма, Великобритания
 Гленн П. Джудэй, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
 Харальд Лоенг, Институт морских исследований, Норвегия
 Магдалена А.К. Мюир, Фонд сохранения арктической флоры и фауны, Исландия
 Пал Преструд, Центр климатических исследований в Осло, Норвегия

Глава 11: Управление дикой природой и ее сохранение в условиях изменяющейся окружающей среды Арктики

Ведущий автор

Дэвид Р. Клейн, Университет Аляски, Фэрбанкс, США

Авторы

Леонид М. Баскин, Институт экологии и эволюции РАН, Россия
 Людмила С. Богословская, Российский институт культурного и природного наследия, Россия
 Кьел Данелл, Шведский университет сельскохозяйственных наук, Швеция
 Анне Ганн, Правительство Северо-Западных Территорий, Канада
 Дэвид Б. Айронс, Американская служба рыболовства и дикой природы, США
 Гари П. Кофинас, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
 Кит М. Ковакс, Норвежский полярный институт, Норвегия
 Маргарита Магомедова, Институт экологии растений и животных, Россия

Авторы научных глав

Роза Х. Михан, Американская служба рыболовства и дикой природы, США
Дон Э. Раселл, Канадская служба дикой природы, Канада
Патрик Валкенбург, Департамент по рыболовству и охоте Аляски, США

Глава 12: Охота, оленеводство, рыболовство и собирательство: коренные народы и использование возобновляемых ресурсов в Арктике

Ведущий автор

Марк Наттэлл, Университет Абердина, Шотландия, Великобритания, Университет Альберты, Канада

Авторы

Фикрет Беркес, Университет Манитобы, Канада
Брюс Форбес, Университет Лапландии, Финляндия
Гари Кофинас, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
Татьяна Власова, Ассоциация коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока
России (АКМНСС и ДВ), Россия
Джордж Венцель, Университет Макгилла, Канада

Глава 13: Рыболовство и аквакультура

Ведущие авторы

Хьялмар Уилхьялмссон, Институт морских исследований, Исландия
Алф Хакон Хоел, Университет Тромсе, Норвегия

Авторы

Свейнн Агнарссон, Исландский университет, Исландия
Рагнар Арнасон, Исландский университет, Исландия
Джеймс Е. Карскадден, Департамент по рыболовству и океанам Канады, Канада
Арне Эйде, Университет Тромсе, Норвегия
Дэвид Флахарти, Вашингтонский университет, США
Геир Хоннеланд, Институт Фритьофа Нансена, Норвегия
Карстен Хвингел, Гренландский институт естественных наук, Гренландия
Якоб Якобссон, Институт морских исследований, Исландия
Джордж Лили, Департамент по рыболовству и океанам Канады, Канада
Одд Наккен, Институт морских исследований, Норвегия
Владимир Радченко, Сахалинский научно-исследовательский институт рыболовства и океанографии,
Россия
Сюзанна Рамстад, Норвежский полярный институт, Норвегия
Виллиам Шренк, Мемориальный университет Ньюфаунленда, Канада
Нильс Вестергард, Университет Южной Дании, Дания
Томас Вайлдербаер, Национальная служба морского рыболовства, НОАА, США

Глава 14: Лесное хозяйство, использование земель и сельское хозяйство

Ведущий автор

Гленн П. Джудэй, Университет Аляски, Фэрбанкс, США

Авторы

Валери Барбер, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
Ханс Линдерхольм, Гетеборгский университет, Швеция
Скотт Рапп, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
Стив Сппероу, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
Евгений Ваганов, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, Россия
Джон Яри, Университет Аляски, Фэрбанкс, США

Авторы-консультанты

Эдвард Берг, Американская служба по рыболовству и дикой природе, США
Розанна Д'Арриго, Земная обсерватория Ламонт Доэрти, США
Пол Даффи, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
Олафур Еггертссон, Департамент исследования леса Исландии, Исландия
В.В. Фуряев, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, Россия
Эдвард Х. (Тэд) Хогг, Канадская лесная служба, Канада
Сату Хутунен, Университет Оулу, Финляндия
Гордон Якоби, Земная обсерватория Ламонт Доэрти, США

В.Я. Каплунов, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, Россия
 Сеппо Келломяки, Университет Еенсуу, Финляндия
 А.В. Кирдянов, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, Россия
 Кэрол Е. Левис, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
 Суне Линдер, Шведский университет сельскохозяйственных наук, Швеция
 М.М. Наурзбаев, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, Россия
 Ф.И. Плещиков, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, Россия
 Ульф Т. Рунессон, Университет Лейкхид, Канада
 Ю.В. Савва, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, Россия
 О.В. Сидорова, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, Россия
 В.Д. Стаканов, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, Россия
 Н.М. Чебакова, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, Россия
 Е.Н. Валендик, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, Россия
 Е.Ф. Ведрова, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, Россия
 Мартин Вилмкинг, Земная обсерватория Ламонт Доэрти, США

Глава 15: Здоровье человека

Ведущие авторы

Джин Бернер, Консорциум по здравоохранению коренного населения Аляски, США
 Кристофер Фургал, Университет Лавалья, Канада

Авторы

Петер Бьеррегаард, Национальный институт общественного здоровья, Дания
 Майк Брэдли, Консорциум по здравоохранению коренного населения Аляски, США
 Тайн Куртис, Национальный институт общественного здоровья, Дания
 Эд Де Фабо, Университет Джорджа Вашингтона, США
 Юхани Хасси, Университет Оулу, Финляндия
 Вильям, Китинг, Квин Мэри и Вестфилд Колледж, Великобритания
 Сив Квернмо, Университет Тромсе, Норвегия
 Симо Найха, Университет Оулу, Финляндия
 Ханну Ринтамаки, Финский институт профессионального здоровья, Финляндия
 Джон Уоррен, Консорциум по здравоохранению коренного населения Аляски, США

Глава 16: Инфраструктура: здания, системы обеспечения и промышленные объекты

Ведущий автор

Арне Инстанес, Инстанес консалтинг инжинирс, Норвегия

Авторы

Олег А. Анисимов, Государственный гидрологический институт, Россия
 Лаусон Бригхем, Американская комиссия арктических исследований, США
 Дуглас Горинг, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
 Бранко Ладани, Монреальская политехническая школа, Канада
 Ян Отто Ларсен, Норвежский университет науки и технологии, Норвегия
 Лев Н. Хрусталева, Московский государственный университет, Россия

Авторы-консультанты

Орсон Смит, Университет Аляски в Анкоридже, США
 Эми Штевермер, Университет Колорадо в Боулдере, США
 Бетси Узерхед, Университет Колорадо в Боулдере, США
 Гюнтер Веллер, Университет Аляски, Фэрбанкс, США

Глава 17: Изменения климата в условиях многочисленных нагрузок и способности к восстановлению

Ведущие авторы

Джеймс Дж. Маккарти, Гарвардский университет, США
 Мэрибет Лонг Мартелло, Гарвардский университет, США

Авторы

Роберт Корелл, Американское метеорологическое общество и Гарвардский университет, США
 Ноелл Экли, Гарвардский университет, США
 Шери Фокс, Университет Колорадо в Боулдере, США
 Грет Ховелсруд-Брода, Центр международных исследований климата и окружающей среды, Норвегия

Авторы научных глав

Свейн Матиесен, Норвежская школа ветеринарных наук и Институт северных саами, Норвегия
Коллин Польски, Университет Кларка, США
Хенрик Селин, Бостонский университет, США
Николас Тайлер, Университет Тромсе, Норвегия

Авторы-консультанты

Кирсти Стром Булл, Университет Осло и Институт северных саами, Норвегия
Ингер Мария Гауп Еира, Институт северных саами, Норвегия
Нильс Айзек Эйра, Фоссбаккен, Норвегия
Сири Эриксен, Центр международных исследований климата и окружающей среды, Норвегия
Ингер Ханссен-Бауер, Норвежский метеорологический институт, Норвегия
Джохан Клемет Калстад, Институт северных саами, Норвегия
Кристиан Неллеманн, Норвежский институт природных исследований, Норвегия
Нильс Оскал, Колледж университета саами, Норвегия
Эрик С. Рейнерт, Хвассер, Тонсберг, Норвегия
Дуглас Сиегел-Кауси, Гарвардский университет, США
Паал Вегар Сторехейер, Университет Тромсе, Норвегия
Джохан Матис Тури, Мировая ассоциация оленоводов, Норвегия

Глава 18: Заключение и выводы

Ведущий автор

Гюнтер Веллер, Университет Аляски, Фэрбанкс, США

Авторы

Элизабет Буш, Министерство окружающей среды Канады, Канада
Терри В. Каллахэн, Научно-исследовательская станция в Абиско, Швеция; Шеффилдский Центр экологии Арктики, Великобритания
Роберт Корелл, Американское метеорологическое общество и Гарвардский университет, США
Шери Фокс, Университет Колорадо в Боулдере, США
Кристофер Фургал, Университет Лавалья, Канада
Алф Хакон Хоел, Университет Тромсе, Норвегия
Генри Хантингтон, Хантингтон Консалтинг, США
Эрланд Шаллен, Стокгольмский университет, Швеция
Владимир М. Катцов, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Россия
Дэвид Р. Клейн, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
Харальд Лоенг, Институт морских исследований, Норвегия
Мэрибет Лонг Мартелло, Гарвардский университет, США
Майкл Маккракен, Институт климата, США
Марк Наттэлл, Университет Абердина, Шотландия, Великобритания, Университет Альберты, Канада
Терри Д. Праус, Университет Виктории, Канада
Ларс-Отто Рейерсен, Программа по арктическому мониторингу и оценке, Норвегия
Джеймс Д. Рейст, Департамент по рыболовству и океанам Канады, Канада
Аапо Тансканен, Финский метеорологический институт, Финляндия
Джон Э. Уолш, Университет Аляски, Фэрбанкс, США
Бетси Уэзерхед, Университет Колорадо в Боулдере, США
Фред Дж. Врона, Национальный институт гидрологических исследований, Канада

Наблюдатели, аккредитованные при Арктическом Совете

Государства-наблюдатели:

Франция
Германия
Нидерланды
Польша
Великобритания

Международные организации:

Конференция парламентариев Арктического региона
Международная федерация Обществ Красного Креста и Красного Полумесяца (IFRC)
Международный Совет по сохранению природы (IUCN)
Совет министров Северных стран (NCM)
Северный Форум
Северо-Атлантическая комиссия по морским млекопитающим (NAMMCO)
Европейская экономическая комиссия ООН (UN-ECE)
Программа ООН по окружающей среде (UNEP)
Программа ООН по развитию (UNDP)

Неправительственные организации:

Наблюдательный комитет по защите морей (ACOPS)
Мировая ассоциация оленеводов
Циркумполярный совет по сохранению (CCU)
Международный арктический научный комитет (IASC)
Международная арктическая ассоциация социальных наук (IASSA)
Международный союз по циркумполярному здоровью (IUCH)
Международная Рабочая группа по делам коренных народов (IWGIA)
Арктический университет (UArctic)
Фонд дикой природы (WWF)

Внешние рецензенты Доклада "*Воздействия потепления в Арктике*"

Роберт Уайт, Вашингтонская наблюдательская группа, США
Рэнди Удалл, Общественный офис по эффективности ресурсов, Аспен, Колорадо, США
Расмус Ханссон, Всемирная федерация дикой природы, Норвегия
Мэри Симон, Бывший посол по циркумполярным делам и Консультант, Канада
Тед Манн, Университет Торонто, Канада
Роджер Дж. Барри, Национальный центр данных по снегу и льду, Колорадский университет в Боулдере, США
О.В. Хил, Университет Дархэма, Великобритания

Наблюдательный комитет по Докладу

Представители от организаций

Роберт Корелл, Председатель.....	Международный арктический научный комитет, США
Пал Преструд, заместитель Председателя	Программа по охране арктической флоры и фауны, Норвегия
Снорри Балдурссон (до августа 2000 г.).....	Программа по охране арктической флоры и фауны, Исландия
Гордон Макбин (начиная с августа 2000 г.).....	Программа по охране арктической флоры и фауны, Канада
Ларс-Отто Рейерсен.....	Программа арктического мониторинга и оценки, Норвегия
Ханне Петерсен (до сентября 2001 г.).....	Программа арктического мониторинга и оценки, Дания
Юрий Цатуров (начиная с сентября 2001 г.)	Программа арктического мониторинга и оценки, Россия
Берт Болин (до июля 2000 г.)	Международный арктический научный комитет, Швеция
Рогнвалдур Ханнессон (начиная с июля 2000 г.).....	Международный арктический научный комитет, Норвегия
Терри Фендж.....	Постоянные участники, Канада
Ян-Идар Солбаккен	Постоянные участники, Норвегия
Синди Диксон (начиная с июля 2002 г.)	Постоянные участники, Канада

Секретариат АСИА

Гюнтер Веллер, исполнительный директор	Секретариат АСИА, США
Патриция А. Андерсон	Секретариат АСИА, США

Ведущие авторы

Джим Бернер	Консорциум по здравоохранению коренного населения Аляски, США
Терри В. Каллахэн.....	Научно-исследовательская станция в Абиско, Швеция; Шеффилдский Центр экологии Арктики, Великобритания
Генри Хантингтон.....	Хантингтон Консалтинг, США
Арне Инстанес	Инстанес консалтинг инжинирс, Норвегия
Гленн П. Джудэй.....	Университет Аляски, Фэрбанк, США
Эрланд Шаллен.....	Стокгольмский университет, Швеция
Владимир М. Катцов.....	Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Россия
Дэвид Р. Клейн.....	Университет Аляски, Фэрбанк, США
Харальд Лоенг	Институт морских исследований, Норвегия
Гордон Макбин	Университет Западного Онтарио, Канада
Джеймс Дж. Маккарти.....	Гарвардский университет, США
Марк Наттэлл	Университет Абердина, Шотландия, Великобритания, Университет Альберты, Канада
Джеймс Д. Рейст (до июня 2002 г.).....	Департамент по рыболовству и океанам Канады, Канада
Фред Дж. Врона (начиная с июня 2002 г.)	Национальный институт водных ресурсов, Канада
Петтери Таалас (до марта 2003 г.)	Финский метеорологический институт, Финляндия
Аапо Тансканен (начиная с марта 2003 г.).....	Финский метеорологический институт, Финляндия
Хьялмар Уилхьялмссон.....	Институт морских исследований, Исландия
Джон Э. Уолш	Университет Аляски, Фэрбанк, США
Бетси Уэзерхед.....	Университет Колорадо в Боулдере, США

Связи

Снорри Балдурссон (август 2000 г – сентябрь 2002 г.)	Программа по охране арктической флоры и фауны, Исландия
Магдалена Муир (сентябрь 2002 г. – май 2004 г.).....	Программа по охране арктической флоры и фауны, Исландия
Мария Виктория Гуннарсдоттир (начиная с мая 2004 г.).....	Программа по охране арктической флоры и фауны, Исландия
Снорри Балдурссон (начиная с сентября 2002 г.)	Арктический Совет, Исландия
Одд Рогне	Международный арктический научный комитет, Норвегия
Берт Болин (до июля 2000 г.)	Межправительственная группа экспертов по изменению климата, Швеция
Джеймс Дж. Маккарти (июнь 2001 г.- апрель 2003 г.).....	Межправительственная группа экспертов по изменению климата, США
Джон Стоун (начиная с апреля 2003 г.).....	Межправительственная группа экспертов по изменению климата, Канада
Джон Калдер.....	Национальное управление по океану и атмосфере, США
Карл Эрб	Национальный научный фонд, США
Ханне Петерсен (начиная с сентября 2001 г.).....	Дания

Приложение - 3

Иллюстрации и фотографии

Выполнение проекта, дизайн и макет

Грэхорн Студио Инк. 1316 Таркуаз Трейл, Керриллос, Нью-Мексико, 87010, Соединенные Штаты Америки (505) 780-2554 – grabhorn@earthlink.net

Рисунки и иллюстрации:

Внутренняя обложка: карта Арктики ©Клиффорд Грэхорн
Все карты фона и карты визуализации расчетов – ©Клиффорд Грэхорн/Грэхорн Студио Инк., исключая карты, указанные ниже

Страница 2: фон – глобус – НАСА

Страница 25: изображения сплоченности морского льда, полученные со спутника – НАСА

Страница 32–33: фон – карта развертки глобуса – НАСА

Страница 54: карта распространения еловых жуков-короедов на Юконе – Министерство природных ресурсов Канады, карта распространения еловых жуков-короедов на полуострове Кенай – Лесная служба департамента сельского хозяйства США

Страница 109: ©Программа ООН по окружающей среде

Рисунки являются оригинальными или созданными на основе документов, предоставленных отдельными лицами или институтами, перечисленными в списке авторов на первой странице этой книги. Ссылки на оригинальные источники приведены вместе с соответствующими рисунками в полном научном отчете АСИА.

Фотографии

Обложка: все фотографии – ©Брайен и Черри Александер, Хайер Коттедж, Манстон, Стерминстер Ньютон, Дорсет, DT10 1EZ, Англия – alexander@arcticphoto.co.uk

Титульный лист: ©Пол Грэхорн

Предисловие: ©Брайен и Черри Александер

Содержание: все – Брайен и Черри Александер

Страница 2: фон-глобус – НАСА

Страница 4: изображения Земли со спутника – НАСА

Страница 6–9: все – ©Брайен и Черри Александер

Страница 10–11: вторжение океана в Шишмарев – ©Тони Вейонанна, все остальные – ©Брайен и Черри Александер

Страница 12: речной и снежный ландшафты – Брайен и Черри Александер, вечная мерзлота – ©Пол Грэхорн

Страница 13: речной лед и морской лед с лодкой –

©Брайен и Черри Александер,

ледник – ©Пол Грэхорн, береговая эрозия –

©Станислав Огородов, Московский университет

Страница 14: лесной пожар – Пожарная служба Аляски Бюро

землепользования, все остальные – ©Брайен

и Черри Александер

Страница 15: полярные стратосферные облака – НАСА, старый

лес – ©Роберт Отт, тундра – ©Брайен и Черри Александер

Страница 16–17: огород – ©Пол Грэхорн, все остальные –

©Брайен и Черри Александер

Страница 20: вставка: снежный ландшафт – ©Брайен

и Черри Александер, вставка: морской лед – НАСА

Страница 21: ледники острова Элсмир, вид из космоса – НАСА

Страница 22–24: все – ©Брайен и Черри Александер

Страница 25: морской лед – ©Брайен и Черри Александер

Страница 30–31: морской лед с торосом и занесенные

снегом деревья – ©Брайен и Черри Александер

Страница 33–35: все – ©Брайен и Черри Александер

Страница 37–38: все – ©Брайен и Черри Александер

Страница 39: – озеро и горы – ©Пол Грэхорн, растущий лес,

повреждение от пожара, фотографии на вставках: озера

и пруды – ©Роберт Отт, тундровые пруды – ©Пол Грэхорн,

фитопланктон – НАСА

Страница 40–41: ледниковый щит, вид с воздуха – ©Брайен

и Черри Александер, ледник Макколл в 1958 г. – ©Остин

пост, ледник Макколл в 2003 г. – ©Мэтт Нолан

Страница 42–43: побережье о. Шишмарев – ©Тони

Вейонанна, низкие острова – ©Пол Грэхорн, закат

на болоте – инженерный корпус армии США

Страница 44–45: птица в полете – © Франк Тодд/BE&C

Александер, все остальные – © Брайен и Черри Александер

Страница 46–47: побережье Исландии – ©Снорри

Балдурссон, полярная пустыня, полупустыня, кочковатая

тундра – ©Терри В. Каллахан, все остальные – ©Брайен и

Черри Александер

Страница 48–49: оттаявший пруд в Швеции – ©Терри В.

Каллахэн, все остальные – ©Брайен и Черри Александер

Страница 50: осенний лес – ©Роберт Отт, вид озера

с воздуха – ©Брайен и Черри Александер

Страница 52: сибирский лес – ©Брайен и Черри Александер

Страница 53: ели на фоне гор – ©Роберт Отт

Страница 54–55: еловый жук-короед – Специальная

коллекция национальной сельскохозяйственной

библиотеки, – ©Роберт Отт, еловая листоветка – ©Терез

Арканд /Министерство природных ресурсов Канады,

нашествие листоветки в Канаде – ©Клод Монье

/Министерство природных ресурсов Канады, еловый лес на

фоне горного склона – ©Роберт Отт

Страница 56: лесной пожар – © Джон Макколган / Пожарная

служба Аляски Бюро землепользования

Страница 57–59: все – ©Брайен и Черри Александер

Страница 60: ледяные водоросли и аквалангист –

©Роб Бадд / Национальный институт водных и атмосферных

исследований, Новая Зеландия

Страница 61–65: все – ©Брайен и Черри Александер

Страница 66–67: аквакультура на Фарерских островах –

©Енс Кристиан Ванг

Страница 69: северный олень – ©Брайен и Черри

Александер

Страница 70–71: приготовление пищи из мяса северного

оленя – ©Генри Хантингтон, все остальные – ©Брайен и

Черри Александер

Страница 72: миграция оленей, вид с воздуха – ©Брайен

и Черри Александер, совещание в Олд Кроу и вид на поселок

с воздуха – ©Пол Грэхорн

Страница 73: карибу, выходящий из реки – ©Брайен

и Черри Александер, пять изображений использования

и разделки оленя – ©Туки Меркреди

Страница 74: вид реки с воздуха – ©Брайен

Страница 76–77: все – ©Брайен и Черри Александер
Страница 78–79: Сент-Джордж, вид с воздуха –
Лагуна Нельсона, вид с воздуха
Страница 80–81: Шторм на о. Шишмарев и набережная –
©Тони Вейонанна, штормовые волны в Туктоякту – ©Стивен
Соломон, береговая эрозия и нефтяные емкости –
©Станислав Огородов, Московский университет
Страница 82–83: все – ©Брайен и Черри Александер
Страница 84–85: ©Изображения разлива нефти – Трастовый
совет по проблемам разлива нефти с Эксон Валдес, все
остальные – ©Брайен и Черри Александер
Страница 86: застрявший грузовик – ©Пол Грэпхорн, ледовая
дорога – ©Брайен и Черри Александер
Страница 88: ©Брайен и Черри Александер
Страница 89: поврежденное строение – ©Владимир
Романовский, здание Бритиш Петролеум – ©Брайен
и Черри Александер, лавина
Страница 90–91: все – ©Пол Грэпхорн
Страница 92–93: игра на бубнах – Генри Хантингтон,
все остальные – ©Брайен и Черри Александер
Страница 94–97: все – ©Брайен и Черри Александер
Страница 98: стратосферные облака – НАСА
Страница 100: ледяной ландшафт – Генри Хантингтон,
растения – ©Пол Грэпхорн

Страница 101: стратосферные облака – НАСА
Страница 102: оба – ©Брайен и Черри Александер
Страница 103: птица на гнезде – ©Брайен
и Черри Александер, изображения деревьев, поврежденных
пядницей осенней – ©Штеффан Карлссон
Страница 104–111: все – ©Брайен и Черри Александер
Страница 114: альпийский пруд и луг – ©Пол Грэпхорн,
все остальные – ©Брайен и Черри Александер
Страница 115: пастух саами и северный олень – ©Брайен и
Черри Александер, бухта и остров – ©Снорри Балдурссон
Страница 116: все – ©Брайен и Черри Александер
Страница 117: поврежденное строение – ©Владимир
Романовский, оленевод – ©Брайен и Черри Александер
Страница 118: ловец лосося и вид ландшафта с воздуха –
©Пол Грэпхорн, ландшафт Аляски и нефтяной танкер –
©Брайен и Черри Александер
Страница 119: оба – ©Брайен и Черри Александер
Страница 120: вверху – НАСА, мигрирующие олени
и нерпа – Брайен и Черри Александер
Страница 121: оба – ©Брайен и Черри Александер
Страница 122–123: НАСА
Страница 124–125: все: ©Брайен и Черри Александер
Задняя обложка: ©Брайен и Черри Александер