

The background of the entire page is a photograph of several ice floes floating in clear, blue water. The ice floes are irregular in shape and size, with some showing a textured surface. The water is a deep, clear blue, and the overall scene is bright and clean.

# **Проблемы климата Арктики 2011:**

**Изменения в арктическом  
снеге, воде, льде и мерзлоте**

**Использование в образовательных целях:** Этот доклад, частично или полностью, как и другие продукты SWIPA, доступные по адресу [www.amap.no/swipa](http://www.amap.no/swipa) могут быть свободно использованы в качестве учебных материалов и для других учебных целей.

Единственное условие для такого использования – необходимость указывать, что АМАП/SWIPA является источником данных материалов в соответствии с рекомендованным способом цитирования.

В случае возникновения вопросов, связанных с использованием материалов в образовательных целях, пожалуйста, свяжитесь с Секретариатом АМАП ([www.amap.no](http://www.amap.no))

**Примечание:** Данный отчет может содержать материалы (например, фотографии), для которых будет необходимо получить разрешение на использование от оригинальных правообладателей

# ПРОБЛЕМЫ КЛИМАТА АРКТИКИ 2011: ИЗМЕНЕНИЯ В АРКТИЧЕСКОМ СНЕГЕ, ВОДЕ, ЛЬДЕ И МЕРЗЛОТЕ

## Проблемы климата Арктики 2011: Изменения в арктическом снеге, воде, льде и мерзлоте

© Arctic Monitoring and Assessment Programme, 2012

### Издатель

Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Gaustadalléen 21, N-0349 Oslo, Norway (www.amap.no)

### Цитирование

AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011 Overview Report.

### Заказ

AMAP Secretariat, Gaustadalléen 21, N-0349 Oslo, Norway

Этот отчет также опубликован как электронный документ доступный на веб-сайте АМАП www.amap.no

## Производство

### Автор

Линн Дикс (lvd22@cam.ac.uk) при участии Розамунды Альмонд (roz.almond@gmail.com) и Анны Макайвор (anna.mcivor@gmail.com)

### Управление производством

Каролин Симон (carolyn.symon@btinternet.com), Саймон Уилсон (Секретариат АМАП)

### Научное и грамматические редактирование

Каролин Симон

### Макетирование и техническая продукция

Burnthebook Design, Derby DE24 8HR, United Kingdom (burnthebook.co.uk)

### Разработка и производство компьютерной графики

Саймон Дакворт (simon@burnthebook.co.uk), Саймон Уилсон (Секретариат АМАП), Фриц Стеенхьюсен (Арктический центр, Университет Гронингена), Уго Алениус (hugo.ahlenius@nordpil.com), Джон Беллами (John bellamy@swipnet.se), Керри Хейвуд (kerry@burnthebook.co.uk)

### Фотография на обложке

Аэрофотоснимок голубых озер, образовавшихся на ледниковом щите. Национальный парк Ледниковая бухта, Аляска. Фото: © Kennan Ward / Corbis

### Напечатано

Narayana Press, Gylling, DK-8300 Odder, Denmark (www.narayanapress.dk) a swan-labelled printing company, 541 562

### Перевод на русский язык

канд. геогр. наук М.Д. Ананичева, канд. физ.-мат. наук В.Е. Лагун, канд. физ.-мат. наук С.В. Яговкина под редакцией канд. физ.-мат. наук А.В. Клепикова

Настоящее издание является переводом книги: Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost (110 p.).

© Arctic Monitoring and Assessment Programme, 2012. ISBN 978-82-7971-033-8. Все права защищены. Русскоязычное издание осуществлено ГНЦ РФ Арктический и антарктический НИИ.

ISBN 978-5-98364-075-7

© ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (перевод), 2016

### Рабочая группа АМАП:

Рассел Ширер (Председатель, Канада), Фред Врона (Канада), Микала Клинт (Дания), Хенрик Ларсен (Дания), Мортен Сквонгаард Ольсен (Зам. председателя, Дания), Оути Махонен (Зам. председателя, Финляндия), Хельги Дженссон (Исландия), Пер Довле (Норвегия), Юрий Цатуров (Зам. председателя, Россия), Туве Лундеберг (Швеция), Том Армстронг (США), Ян-Идар Сольбаккен (Постоянное представительство организаций коренных народов).

### Секретариат АМАП:

Ларс-Отто Рейерсен, Саймон Уилсон, Юрий Сычев, Джанет Пауляк, Ян-Рене Ларсен, Ингер Утне.

### Государства-члены Арктического совета и Постоянные участники совета:

Канада, Дания/Гренландия/Фарерские острова, Финляндия, Исландия, Норвегия, Россия, Швеция, США, Международная ассоциация алеутов (AIA), Арктический совет атабасков (ААС), Международный совет гвичинов (GCI), Приполярный Совет инуитов (ИСС), Российская Ассоциация коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации (АКМНСС и ДВ РФ), Совет саамов.

## Предисловие

Этот отчет представляет собой изложение выводов научного доклада *Снег, вода, лед и вечная мерзлота в Арктике* (*Snow, Water, Ice, Permafrost in Arctic – SWIPA*, далее СВИПА). Работа над докладом длилась в период между 2008 и 2011 гг. по Программе арктического мониторинга и оценки (АМАП) в тесном сотрудничестве с Международным арктическим научным комитетом (МАНК), Всемирной программой исследований климата (ВПИК) и ее проектом Климат и Криосфера (CliC) и Международной арктической ассоциацией социальных наук (IASSA).

Доклад СВИПА стал продолжением доклада *Оценка климатических воздействий в Арктике* (ACIA)<sup>1</sup>, опубликованного в 2005 г. ACIA представляет собой эталон, на базе которого этот обновленный научный доклад об изменениях в криосфере Арктике и был подготовлен. Авторами доклада СВИПА стала международная группа из более чем двухсот ученых, экспертов и членов общин арктических коренных народов (см. раздел Благодарности). Ведущие авторы и международные эксперты, которые осуществили независимое рецензирование доклада СВИПА, были отобраны посредством открытого процесса выдвижения кандидатов. Управляющая группа СВИПА отвечала за научный надзор и координацию всей работы, связанной с подготовкой доклада СВИПА.

Рабочая группа АМАП ответственна за *Обзорный доклад СВИПА*. Научную основу для всей информации, представленной в этом обзорном докладе, можно найти в содержащем все необходимые ссылки Научном докладе *Снег, вода, лед и вечная мерзлота в Арктике* (СВИПА): *Изменения климата и криосфера*<sup>2</sup>, прошедшем процедуру независимого рецензирования. Информация о том, какие главы полного Научного доклада были использованы для Обзорного доклада, представленного здесь, дана в нижнем углу первой страницы соответствующим образом пронумерованных разделов.

Резюме этого доклада, включающее рекомендации для политиков, было представлено министрам Арктического совета на встрече в Нууке, Гренландия, в мае 2011 г. С момента представления доклада СВИПА тенденции, задокументированные в нем, продолжились, в том числе в 2012 г. были достигнуты рекорды температуры и сокращения морского льда в Арктике.

Другая научно-популярная продукция доклада СВИПА включает в себя фильмы (доступные на разных языках) с изложением основных результатов доклада СВИПА, сделанные специально для политиков, и краткое резюме для образовательных целей. Все отчеты и фильмы СВИПА можно получить в Секретариате АМАП и найти на сайте [www.amap.no](http://www.amap.no).

АМАП и ее партнерские организации хотели бы выразить свою признательность всем экспертам за их время, усилия и данные, вложенные в Научный доклад СВИПА, и, особенно, ведущим авторам и членам Управляющей группы СВИПА. Особая благодарность выражается коллективу научных писателей во главе с Линн Дикс за обработку большого количества научного материала и превращения его в научно-популярный текст Обзорного доклада.

Поддержка проведения исследований и мониторинга в Арктике со стороны как арктических, так и неарктических стран жизненно важна для успеха программы АМАП. Работа АМАП, в основном, базируется на поддержке текущей деятельности в этих странах, которые также оказывают необходимую помощь большинству экспертов, участвующих в подготовке отчетов АМАП. В частности, АМАП хотела бы поблагодарить Канаду, Данию, Норвегию и Совет министров северных стран за финансовую помощь работы над отчетом СВИПА, а также спонсоров программ и проектов, которые предоставляли для него данные. Особую благодарность выражаем экспертам, участвовавшим в проектах Международного полярного года (МПГ), которые сделали их результаты доступными для отчета СВИПА.

Рабочая группа АМАП рада представить свой оценочный доклад Арктическому совету и международному научному сообществу.

Мортен Сковгард Ольсен (Председатель СВИПА)



Рассел Ширер (Председатель АМАП)



Ларс-Отто Рейерсен (Исполнительный секретарь АМАП)



Осло, октябрь 2012 г.

<sup>1</sup> ACIA, 2005. Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press. v + 1042pp.

<sup>2</sup> AMAP, 2011. Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xii + 538pp.

## Благодарности

Genrikh Alekseev, Knut Alfredsen, Michel Allard, Maria Ananicheva, Oleg Anisimov, Katey Walter Anthony, Anthony Arendt, Derek Armitage, Michael Baffrey, Jonathan Bamber, David Barber, Roger G. Barry, Spyros Beltaos, Jacob Bendtsen, Terry Bidleman, Cecilia Bitz, Helgi Bjornsson, Sylvie Blangy, Bodil Bluhm, Carl E. Bueggild, Tobias Bolch, Barrie Bonsal, Breck Bowden, Raymond S. Bradley, Michael van den Broeke, Ross D. Brown, Erik Buch, Olga N. Bulygina, Igor Buzin, Vladimir Buzin, Terry V. Callaghan, F. Stuart Chapin III, William L. Chapman, Jens H. Christensen, Torben R. Christensen, Hanne H. Christiansen, John J. Clague, John Graham Cogley, Jonathan Colman, Dorthe Dahl-Jensen, Halvor Dannevig, Klaus Dethloff, Yonas Dibike, Julian A. Dowdeswell, Claude Duguay, Mark B. Dyrugerov†, Hajo Eicken, Richard L.H. Essery, Bernd Etzelmuller, Mark Fahnestock, Bruce C. Forbes, Donald Forbes, Mads C. Forchhammer, James Ford, Povl Frich, Dmitry Frolov, Stefan Fronzek, Nikolaus Gantner, Tony Gaston, Shari Gearheard, Sebastian Gerland, David Gilichinsky†, Andrey Glazovsky, Vladimir N. Golubev, Barry Goodison, Rolf Gradinger, Mats A. Granskog, Andrea Grant-Friedman, Thomas C. Grenfell, Grete K. Hovelsrud, Pavel Y. Groisman, Christian Haas, Jon-Ove Hagen, Crispin Halsall, Larry Hinzman, Regine Hock, Marika Holland, Kim Holmӓn, Richard E. Honrath†, Hans-Wolfgang Hubberten, Steven Hudson, Ole Humlum, George Hunt, Henry Huntington, Jun Inoue, Arne Instanes, Janet Intrieri, Hester Jiskoot, Tymas Jyhannesson, Margareta Johansson, M. Torre Jorgensen, Edward Josberger, Glenn P. Juday, Roland Kallenborn, Vladimir M. Kattsov, Frank Kauker, Jeffrey R. Key, Lene Kielsen-Holm, Takashi Kikuchi, Alexander Klepikov, Atte Korhola, Kit M. Kovacs, Alexander Krenke†, Peter Kuhry, James Kuptana, Ron Kwok, Niklas Labba, Joan Nymand Larsen, Seymour Laxon, Antoni Lewkowicz, Leif Lia, Ronald Lindsay, Amy L. Lovecraft, Robie Macdonald, Andy

Mahoney, Alexander Makshtas, Sergei S. Marchenko, Shawn Marshall, James Maslanik, Lars Mathiasen, A. David McGuire, James McNamara, Mark F. Meier†, Walter N. Meier, Rae Melloh, Brian Menounos, Anna V. Meshcherskaya, Christine Michel, Alexander Milner, R. Dan Moore, Sue E. Moore, Yaroslav Muravyev, Julian Murton, Son Nghiem, Marcel Nicolaus, Matt Nolan, Dirk Notz, Naum G. Oberman, Morten Skovgaard Olsen, Bob E.H. van Oort, Taha Ouarda, Paul Overduin, James E. Overland, Finnur Palsson, Mark Parsons, Janet Pawlak, Christina Pedersen, Leif Toudal Pedersen, Donald Perovich, Marina N. Petrushina, William Tad Pfeffer, Gareth K. Phoenix, Reinhard Pienitz, Igor Polyakov, John Pomeroy, Birger Poppel, Simon Prinsenberg, Terry Prowse, Volker Rachold, Valentina Radi, Vladimir Radionov, Arja Rautio, Vyacheslav N. Razuvaev, Lars-Otto Reiersen, James D. Reist, Paul Renaud, Svetlana A. Reneva, David A. Robinson, Odd Rogne, Peter Romanov, Vladimir Romanovsky, Minik Rosing, Bruno Rudolf, Stine Rybråten, Søren Rysgaard, Niels M. Schmidt, Edward A.G. Schuur, Igor Semiletov, Mark C. Serreze, Natalia Shakhova, Martin Sharp, Vladimir Shevchenko, Alexander I. Shiklomanov, Igor A. Shiklomanov†, Nikolay I. Shiklomanov, Koji Shimada, Drew Shindell, Andrey B. Shmakin†, Matthew Shupe, Peter Sköld, Sharon Smith, Vasily Smolyanitsky, Sergey A. Sokratov, Steven Solomon†, Konrad Steffen, Morten Stickler, Matthew Sturm, Carolyn Symon, Jörn Thiede, Henning Thing, Robert Thomas, Martin Truffer, Cornelis van der Veen, Andrei A. Velichko†, Timo Vihma, Warwick F. Vincent, Valery Vuglinsky, John E. Walsh, Muyin Wang, Stephen G. Warren, Jan Weckström, Mark Wensnahan, Gesa Weyhenmeyer, Jeremy L. White, Simon Wilson, Gabriel J. Wolken, Ming-ko Woo, Eric F. Wood, Mattias de Woul, Fred Wrona, Daqing Yang, Jinlun Zhang, Yu Zhang.

† Умершие

## Резюме и основные выводы

### Выводы СВИПА для политиков

Новый оценочный доклад АМАП о влиянии изменения климата на снег, воду, лед и вечную мерзлоту в Арктике (СВИПА) объединяет последние научные знания об изменении каждого компонента арктической “криосферы”. В отчете рассматривается, как данные изменения влияют на Арктику в целом и на население, проживающее в Арктике и в других местах планеты.

Термином “криосфера” обозначается часть земной поверхности, периодически промерзающая или постоянно находящаяся в замерзшем состоянии. Сюда входит снег, мерзлый грунт, речной и озерный лед, ледники, ледяные шапки, ледяные щиты и морской лед. Криосфера структурирует физическую среду Арктики. Она снабжает людей пресной водой и предоставляет транспортные маршруты. Криосфера является неотъемлемой частью климатической системы и оказывает влияние на климат, как на региональном, так и на глобальном уровне.

Доклад СВИПА является продолжением доклада Оценка климатических воздействий в Арктике (АСИА), опубликованного в 2005 г. Задача доклада – обновить выводы, представленные в АСИА, и представить более подробные данные по вопросам, связанным с криосферой Арктики.

Наблюдаемые изменения в морском льде Северного Ледовитого океана, в толще

ледникового щита Гренландии и в ледовых куполах и ледниках Арктики за последние десять лет носят драматический характер и очевидным образом расходятся с результатами долговременных наблюдений.

Некоторые параметры криосферы, такие как площадь снежного покрова и льда на поверхности воды и скорость движения ледников и ледяных потоков существенно изменяются в короткие промежутки времени (сезонно, от года к году) и от места к месту. Другие свойства криосферы, такие как площадь вечной мерзлоты и крупных ледяных щитов меняются в течение десятилетий и на больших площадях. Разграничение долгосрочных изменений и естественной изменчивости требует сбора данных в различных точках в течение многих лет и тщательного анализа. Определение реакции криосферы на изменения климата ставит перед учеными различные проблемы и требует как долговременных рядов данных, так и очень частых наблюдений.

### Почему изменяется арктическая криосфера

*Последние шесть лет (2005–2010 гг.) были самым теплым периодом в Арктике за всю историю наблюдений. Высокие температуры приземного воздуха влияют на состояние криосферы.*

#### Основной вывод 1

*Имеются данные о том, что два компонента арктической криосферы – снег и морской лед – взаимодействуют с климатической системой, ускоряя потепление.*

#### Основной вывод 2

В Арктике становится теплее. Температура приземного слоя воздуха в Арктике с 2005 г. превышает среднюю температуру за любой пятилетний отрезок со времени начала измерений (около 1880 г.). Потепление Арктики в силу изменения климата с 1980 г. происходит вдвое быстрее, чем в мире в целом. Данные исследований озерных донных отложений, годовых колец деревьев и ледяных кернов показывают, что летняя температура в Арктике превышает температуру, наблюдаемую когда-либо до того за последние 2000 лет. Были зафиксированы невиданные ранее аномалии погодных условий и океанических течений, в том числе большой приток в Северный Ледовитый океан теплых вод из Тихого океана. Данные изменения являются главными движущими силами изменений в криосфере Арктики.

Указывая на причину потепления в Арктике, СВИПА ссылается на выводы Четвертого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по

изменению климата (МГЭИК). В них указывается, что, “...с высокой степенью вероятности [ $> 90\%$ ] можно утверждать, что рост концентраций антропогенных ПГ [парниковых газов] ответственен за большую часть глобального потепления, начиная с середины XX века”.

#### Взаимодействие климата и криосферы в настоящее время может ускорить потепление

Наибольший рост температуры в приземном слое атмосферы отмечен осенью в районах, где морской лед тает к концу лета. Соответственно, море поглощает больше солнечной энергии в течение лета в связи с отсутствием ледяного покрова. Дополнительная энергия высвобождается осенью в виде тепла, что еще более способствует потеплению нижних слоев атмосферы в Арктике. На суше количество дней, когда сохраняется снежный покров, изменилось и, главным образом, весной. Раннее таяние снега ускоряется более ранним и более сильным потепле-

нием поверхности земли, которая более не имеет снежного покрова.

Данные процессы называются “обратными связями”. Обратные связи для снежного покрова хорошо известны. Для морского льда она была предсказана учеными-климатологами ранее, однако, убедительные доказательства этому были получены в Арктике только в течение последних пяти лет. В Арктике

были также обнаружены и другие механизмы потенциальных обратных связей. Данные механизмы могут внести изменения в скорость, а также в направление климатических изменений и связанных с ними изменений в криосфере. Восемь из этих механизмов, эффект которых предполагается значительным, должны привести к дальнейшему потеплению, и лишь один – к похолоданию.

Интенсивность механизмов обратных связей криосферы и климата еще недостаточно определена количественно как в пределах Арктики, так и во всем мире. Это влечет за собой значительную неопределенность в прогнозировании насколько сильно и как быстро криосфера и арктическая природная среда будут изменяться.

## Как изменяется арктическая криосфера

*Область распространения и время существования снежного покрова и морского льда в Арктике значительно уменьшились. Температура вечной мерзлоты повысилась, величина повышения местами составляет до 2 °С. Южная граница вечной мерзлоты в России и Канаде сдвинулась на север.*

### Основной вывод 3

*Самые крупные и наиболее постоянные запасы льда в Арктике – многолетний морской лед, горные ледники, ледовые купола и Гренландский ледяной щит – с 2000 года уменьшились в объеме больше, чем в предыдущее десятилетие.*

### Основной вывод 4

*В прогнозах, представленных Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) в 2007 году, недооценена скорость изменения состояния морского льда в сравнении с наблюдаемой.*

### Основной вывод 5

Область распространения и время существования снежного покрова и морского льда по всей Арктике значительно уменьшились. Площадь арктической суши, покрытой снегом в начале лета, сократилась с 1966 г. на 18%. В прибрежных районах Аляски и Фенноскандии наблюдается значительное сокращение числа дней в году со снежным покровом. Данные изменения в значительной степени связаны с более ранним таянием снега зимой. Высота снежного покрова уменьшилась в таких регионах, как североамериканская часть Арктики, но, в то же время, увеличилась в других регионах, например, на севере России.

Вечная мерзлота – многолетнемерзлый грунт – залегает под большей частью территории арктической суши. За последние два-три десятилетия температура вечной мерзлоты повысилась на 2 °С, особенно в более холодных районах (обычная температура вечной мерзлоты варьируется от –16 °С до почти 0 °С, в зависимости от местоположения). Глубина почвы над вечной мерзлотой, которая оттаивает ежегодно в летние месяцы, возросла в Скандинавии, российской Арктике к западу от Урала и во внутренней части Аляски. Южная граница вечной мерзлоты в России в 1970–2005 гг. отступила на 30–80 км к северу, и почти на 130 км за последние 50 лет в провинции Квебек.

Ледовый покров на озерах и реках в северном полушарии вскрывается раньше, чем наблюдалось в прошлом. Изучение донных осадков озер высокоширотной Арктики указывает на то, что продолжительность существования ледового покрова на некоторых озерах значительно снизилась за последние 100 лет. Скорость изменения ледового режима озер и рек Арктики варьируется от места к месту, хотя долгосрочных систематических наблюдений проводилось мало.

### Крупные массивы льда тают быстрее

Суммарные потери массы ледяного щита Гренландии, по новым оценкам, увеличились с примерно 50 гигатонн в год (50 000 000 000 тонн в год) в 1995–2000 гг. до 200 гигатонн в 2004–2008 гг. Такого объема воды хватит для обеспечения водой более 1 млрд горожан.

На протяжении последних 100 лет почти все ледники и ледовые купола уменьшились в размерах. Скорость исчезновения ледового покрова повысилась в большинстве регионов, но особенно в арктической части Канады и южной части Аляски. Общие потери массы ледового покрова ледников и меньших ледовых массивов в Арктике превысили, возможно, 150 гигатонн в год за последнее десятилетие, что сопоставимо с оценками потерь ледяного щита Гренландии.

Уменьшение площади морского льда в Арктике за последнее десятилетие происходит быстрее, чем в предыдущие 20 лет. Уменьшение площади морского льда происходит быстрее, чем было предсказано моделями, использованными при подготовке Четвертого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Площадь не растаявшего летом морского льда (многолетний или паковый лед) каждый год была равна или близка к рекордно низким уровням, начиная с 2001 г. В настоящее время это значение на треть меньше среднего значения для морского льда в период с 1979 по 2000 г. Новые наблюдения показывают, что средняя толщина морского льда уменьшилась, и ледовый покров представлен, в основном, более молодым и более тонким льдом.

## Ожидаются еще большие изменения

*К 2050 году ожидается увеличение максимальной высоты снежного покрова во многих областях, преимущественно в Сибири. Несмотря на это, продолжительность существования снежного покрова к 2050 году снизится максимум на 20 %.*

### Основной вывод 6

*В этом веке, предположительно в ближайшие тридцать–сорок лет, Северный Ледовитый океан летом будет полностью очищаться ото льда.*

### Основной вывод 7

Средние температуры в Арктике в осенние и зимние месяцы, даже если удастся сократить масштабы выбросов углекислого газа в атмосферу в течение ближайшего десятилетия, все равно поднимутся на 3–6 °С к 2080 г.

Климатические модели, использованные для подготовки доклада СВИПА, не включают влияние ответной реакции криосферной системы, которое может выразиться дополнительных выбросах парниковых газов из арктической природной среды.

Прогнозируется, что количество осадков в виде снега и дождя увеличится в течение всего года, но особенно зимой. Несмотря на это предполагается, что арктические территории станут более засушливыми в летнее время. Это связано с тем, что более высокая температура воздуха вызовет большее испарение воды, снег начнет таять раньше, и водный режим изменится.

При увеличении осадков в виде снега все прогнозы указывают на то, что высота максимального снежного покрова в зимний период будет увеличиваться во многих регионах. Наибольшее увеличение (15–30 % к 2050 г.) ожидается в Сибири. Но даже в этом случае каждый год снег будет лежать на 10–20 % меньше времени

на большей части Арктики в связи с более ранним таянием весной.

Модели предсказывают, что таяние вечной мерзлоты продолжится.

Прогнозы показывают, что в ближайшие десятилетия толщина морского льда и площадь распространения морского льда летом продолжат снижаться, несмотря на то, что значительные колебания будут наблюдаться от года к году. Предполагается, что к середине столетия Северный Ледовитый океан окажется практически полностью свободным ото льда в летние периоды. Это значит, что больше не будет постоянного присутствия толстого многолетнего льда.

Климатические модели прогнозируют снижение массы горных ледников и ледовых куполов на 10–30 % к концу столетия.

Предполагается, что таяние ледяного щита Гренландии будет происходить быстрее, чем это происходит сейчас, однако, в настоящее время не существует моделей, которые могли бы точно предсказать, как эти и другие массивы материкового льда Арктики среагируют на прогнозируемые изменения климата. Это обусловлено тем, что до сих пор нет полного понимания динамики льда и комплексного взаимодействия между океаном, снегом, льдом и атмосферой.

## Как эти изменения влияют на экосистемы и население Арктики

*Изменения в криосфере влекут за собой фундаментальные изменения в характеристиках арктических экосистем, а в некоторых случаях и исчезновение целых биотопов. Это, в свою очередь, влияет на жизнь людей, чей промысел связан с арктическими экосистемами.*

### Основной вывод 8

*Наблюдаемые и ожидаемые изменения арктической криосферы влияют на обитателей Арктики на многих уровнях. Жителям населенных пунктов, а в особенности людям, ведущим традиционное хозяйство, предстоит решить множество проблем. Эта ситуация несет в себе и новые возможности.*

### Основной вывод 9

### Изменения в криосфере вызывают фундаментальные изменения арктических экосистем

Изменения снегозапасов и структуры снежного покрова оказывают влияние на почву, растения и животных. Некоторые виды, такие как короткоклювый гуменник, выиграют от уменьшения снежного покрова весной. Однако, животные, которые пасутся на заснеженных пастбищах, пострадают, если зимние дожди создадут на снегу ледяную корку. Такое все чаще происходит на севере Канады и в Скандинавии. Меньший снегозапас и более быстрое таяние снега являются причиной летней засухи в лесах, на заболоченных территориях и на озерах, питающихся талой водой. Таяющая вечная мерзлота также ведет к осушению и высыханию заболоченных территорий в одних местах и их появлению в других.

Исчезновение ледяного покрова на реках, озерах и морях изменит животные и растительные сообщества, обитающие в водной среде.

Исчезновение больших пространств, покрытых морским льдом, нанесет большой экологический ущерб видам, приспособленным к жизни на льду, в том числе белым медведям, тюленям, моржам,

нарвалам и некоторым микробным сообществам. Многие животные, в том числе гренландские киты, зависят от мелких ракообразных, обитающих у морского льда. В данном источнике пищи произойдут изменения, если граница льда отступит.

Подобные изменения в экосистемах окажут прямое воздействие на водоснабжение, поставки рыбы и леса, традиционное/местное питание и пастбищные угодья, используемые жителями арктических территорий. Например, предполагалось, что популяции субарктических и арктических видов рыбы, включая ценные промысловые, могут измениться, если морской лед отступит. Неопределенность в отношении снабжения живыми природными ресурсами делает затруднительным планирование на будущее.

Таяние вечной мерзлоты может оказать положительное воздействие на лесные массивы в тех районах, где достаточно воды для роста деревьев, однако, насекомые-вредители создают все больше проблем. Численность некоторых животных, являющихся объектами охоты, такие как тюлени и моржи, снижаются по мере изменения условий обитания. Другие мигрируют на новые места обитания, поэтому охотникам приходится преодолевать большие расстояния.

*Изменения в распределении снега, воды, льда и вечной мерзлоты в Арктике, а также их сезонные показатели значительно изменят транспортные возможности и доступ к ресурсам. Изменения повлияют как на бытовую сферу, так и на коммерческую деятельность.*

#### **Основной вывод 10**

*Возможны повреждения арктической инфраструктуры вследствие изменений в криосфере, в частности из-за таяния вечной мерзлоты и припая.*

#### **Основной вывод 11**

### **Изменения криосферы влияют на источники существования и условия жизни в Арктике**

Доступ к северным территориям по морю облегчается летом, когда морской лед исчезает, что создает условия для активного судостроения и хозяйственной деятельности. Нефтегазовые работы на шельфе получают преимущества в связи с более долгим безледным периодом, но могут вырасти угрозы из-за роста числа айсбергов. Международная морская организация разрабатывает обязательное для исполнения руководство по эксплуатации судов в водах, покрытых льдом. Сокращение площади морских льдов создаст проблемы для местных жителей, которые используют лед для перемещений и охоты, т.к. им придется преодолевать большие расстояния по ненадежному льду.

На суше доступ ко многим местам будет затруднен по мере того, как зимние ледяные и снежные дороги будут раньше оттаивать и позже замерзать и в связи с деградацией вечной мерзлоты. Потребуется концентрация перевозок большегрузного транспорта по зимникам в наиболее холодный период года. Сокращение периодов, когда зимники могут быть использованы, сильно затронет местные общины, которые используют наземный транспорт для грузоперевозок с целью поддержания разумных цен на товары и обеспечения рентабельности, особенно на севере Канады и России. Некоторые материковые области станут более доступными для горнодобывающей промышленности по мере отступления ледников и ледовых куполов.

Таяние вечной мерзлоты в некоторых местах увеличит опасность деформации зданий, дорог, взлетно-посадочных полос и т.п., чему будет способствовать низкое качество проектирования в прошлом. Создаются новые методы проектирования, учитывающие возможность изменений в природе. Здания и инфраструктура подвергаются рискам из-за роста снеговой нагрузки и наводнений, являющихся следствием ледовых заторов на реках или внезапных сбросов воды из ледниковых озер.

Две трети береговой линии Арктики скреплены и защищены льдом. Если припайный лед будет разрушаться раньше,

а вечная мерзлота деградирует, может наблюдаться быстрая эрозия. Вдоль берегов морей Лаптева и Бофорта скорость отступления береговой линии достигла более двух метров в год. На Аляске ряд поселений инуитов готовятся к эвакуации на случай наступления моря.

В краткосрочной перспективе рост таяния ледников создаст новые возможности для гидроэнергетики. В долгосрочной перспективе объем талой воды уменьшится по мере сокращения площади ледников, что окажет отрицательное влияние на производство электрической энергии.

Таяние льда и снега вызовет выброс загрязняющих веществ, которые хранились в них долгие годы, что позволит им вновь попасть в окружающую среду. Воздействие загрязняющих веществ, накапливающихся в пищевых цепях, на людей и высших млекопитающих может возрасти.

Растущая доступность Арктики создаст новые экономические возможности. Растет популярность круизного туризма. Все больше людей приезжает посмотреть на последствия изменения климата для ледников, например, для Илулиссат-Айсфьорд в Гренландии. Возросший поток туристов может нарушить традиционный уклад жизни местных сообществ, а также повысит требования к эффективности инфраструктуры (например, к авиационному обслуживанию, навигационному оборудованию и иным мерам обеспечения безопасности). Исчезновение арктической природы и изменение ландшафтов может оказать отрицательное воздействие на индустрию туризма в долгосрочной перспективе.

Изменения криосферы в сочетании с быстрым освоением влечет за собой новые возможности и новые вызовы для населения Арктики. Традиционные знания могут помочь в фиксации изменений и адаптации к ним. Традиционные знания совершенствуются и, возможно, они будут переданы молодому поколению по мере изменения жизненного уклада. Некоторые аспекты традиционных знаний становятся менее полезными, так как изменения в криосфере и других компонентах арктической системы происходят быстрее и становятся все менее предсказуемыми.

## **Почему изменения в Арктике имеют глобальное значение**

### **Изменения в криосфере Арктики оказывает влияние на климат земного шара и уровень океана**

Сокращаясь, снежные и ледовые поверхности, отражающие значительную часть света, уступают место более темным по-

верхностям земли или океана, поглощающим больше солнечной энергии. Это усиливает прогревание почвы и воздуха. Существуют свидетельства, что подобные процессы происходят в Северном Ледовитом океане по мере отступления морского льда, а также на суше, где таяние снега начинается раньше.

*Потеря льда и снега в Арктике способствует потеплению климата благодаря усилению поглощения солнечной энергии поверхностью планеты. Также это может значительно повысить выделение в атмосферу углекислого газа и метана и изменить картину основных океанских течений. Совокупное воздействие этих эффектов пока не поддается прогнозу.*

#### **Основной вывод 12**

*В период с 2003 по 2008 гг. уровень Мирового океана повышался на 3 мм в год, доля участия в этом процессе арктических ледников, ледяных покровов и Гренландского ледяного щита составила 40 %. К 2100 г. прогнозируется повышение уровня Мирового океана на 0,9–1,6 м, и таяние арктических льдов внесет в это немалый вклад.*

#### **Основной вывод 13**

Это может вызвать значительное увеличение выбросов в атмосферу метана и углекислого газа в Арктике в связи с нагревом почвенных и пресноводных систем и таянием многолетнемерзлых почв на морском дне.

Совокупное воздействие этих эффектов на глобальный климат пока не поддается прогнозу.

Поступление пресной воды в Северный Ледовитый океан из всех основных источников, к которым относятся речной сток, осадки в виде снега/дождя, тающие ледники и ледовые купола, а также ледяной щит Гренландии, возрастает. Согласно последним расчетам в Северный Ледовитый океан в последние годы поступило дополнительно 7700 км<sup>3</sup>, что эквивалентно покрытию глубиной в один метр всей территории Австралии. Существует риск изменения системы основных океанских течений, которые влияют на климат в масштабе континентов.

Тающие ледники и ледниковые щиты вносят наибольший вклад в подъем уровня Мирового океана. Арктические ледники, ледовые купола и ледяной щит Гренландии обеспечили 1,3 мм из общего ежегодного подъема уровня Мирового океана на 3,1 мм в 2003–2008 гг., что составляет более 40 %. Таким образом, вклад Арктики в подъем уровня Мирового океана оказался гораздо больше, чем предполагалось ранее.

В оценках будущего уровня Мирового океана существует большая неопределенность. Последние модели прогнози-

руют рост уровня на 0,9–1,6 м к 2100 г. по сравнению с 1990 г.

#### **Изменения в криосфере Арктики окажут воздействия на мировое сообщество**

Подъем уровня моря является одним из наиболее серьезных последствий изменения криосферы для общества. Более высокий средний уровень моря и более разрушительные штормы окажут прямое негативное воздействие на миллионы жителей низколежащих прибрежных территорий. Подъем уровня моря увеличит риск затопления таких прибрежных городов, как Шанхай и Нью-Йорк.

С другой стороны, экономическая деятельность в глобальном масштабе может получить преимущества в результате криосферных изменений в Арктике, например, открытие трансполярных морских путей через Северный Ледовитый океан на 40 % сократит для судов расстояние между Европой и Тихим океаном по сравнению с нынешними маршрутами, что сократит выбросы в атмосферу и энергопотребление.

Некоторые уникальные арктические виды животных, такие как нарвалы, столкнутся с конкретными угрозами при криосферных изменениях. Сокращение мест обитания, связанных с криосферой, таких как морской лед, водно-болотные угодья в районах вечной мерзлоты окажут влияние на мигрирующие виды млекопитающих и птиц по всему миру. Эти отрицательные воздействия на биоразнообразие имеют глобальное значение.

## **Что необходимо сделать**

*Всем, кто живет, работает или занимается коммерческой деятельностью в Арктике, придется приспособиваться к изменениям в криосфере. Для приспособления потребуются инициативы правительств и международных организаций, а также дополнительные инвестиции в инфраструктуру.*

#### **Основной вывод 14**

#### **Необходима срочная адаптация на всех уровнях**

Изменения в криосфере в первую очередь влияют на население на местном уровне, поэтому местные сообщества будут вынуждены разработать стратегии для реагирования на возникающие риски.

На национальном и региональном уровнях адаптация требует руководства со стороны правительств и международных организаций для принятия новых законов и нормативных актов. Например, новый режим рыболовства будет необходим по мере изменения рыбных запасов. Новые стандарты должны будут быть разработаны для строительства, особенно в регионах, где происходит таяние вечной мерзлоты.

Государства должны будут вкладывать средства в транспортную инфраструктуру в связи с более коротким периодом использования зимних дорог. Должны

быть внесены изменения в проведение поисково-спасательных операций в качестве реакции на рост судоходства и возрастающие риски на море, а также для обеспечения безопасности судоходства будут необходимы точные прогнозы погоды и состояния моря.

Арктические сообщества мобильны и будут активно реагировать на изменения в криосфере. Однако, высокая скорость изменений может превзойти способность к адаптации. Необходимы знания и исследования для того, чтобы предсказать, как могут измениться условия жизни, и оценить возможные варианты адаптации. В этом отношении интересы коренного населения требуют пристального внимания.

Изменения в криосфере являются движущей силой изменений не только в Арктике. Изменения криосферы и климата происходят в контексте социальных изменений, которые могут представлять собой даже большие проблемы. При разработке

*До сих пор остается большая доля неопределенности в том, как быстро будет изменяться арктическая криосфера в будущем и каково, в конечном счете, будет влияние этих изменений. Воздействие событий в криосфере на климат до конца так и не изучено. Для уменьшения этой неопределенности требуются согласованный мониторинг и дальнейшие исследования.*

#### **Основной вывод 15**

стратегий адаптации должна учитываться совокупность социальных, климатических и криосферных изменений.

#### **Необходимо срочно сократить выбросы парниковых газов в мировом масштабе**

Изменения климата представляют собой актуальную и потенциально неотвратимую угрозу для людских сообществ. Глобальные исследования климата с использованием моделирования показывают, что для обеспечения роста глобальной средней температуры в пределах 2 °С по сравнению с доиндустриальным уровнем необходимо резкое и повсеместное снижение выбросов парниковых газов. Борьба с антропогенным изменением климата является общей насущной проблемой для мирового сообщества, требующей принятия мер в мировом масштабе и международного участия.

В соответствии с отчетом АСИА, опубликованным в 2005 г., министры Арктического совета признали, что «в отношении глобальных выбросов необходимы своевременные взвешенные и согласованные действия». Они одобрили ряд рекомендаций в отношении политики, направленной на ограничение выбросов парниковых газов, и «приняли... стратегии..., предполагающие меры в отношении нетто-выбросов парниковых газов и ограничивающие их в долгосрочной перспективе до уровней, соответствующих конечной цели Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН)».

Основные выводы доклада СВИПА, в частности, о высокой и растущей скорости изменения криосферных условий в Арктике, еще раз подчеркивают необходимость более сильных срочных мер в этом направлении.

#### **Неопределенность может быть снижена продолжающимися исследованиями**

Результаты текущего мониторинга, исследований и моделирования с высокой степенью достоверности указывают на то, что в криосфере Арктики происходят значительные изменения, и, что подобные изменения продолжатся в будущем. Некоторые из наблюдаемых изменений совпадают с прогнозами, однако, реакция одного из важных компонентов криосферы (морского льда) оказалась быстрее той, которую прогнозировали всего лишь пять лет назад. Но даже в этом случае остается значительная доля неопределенности, особенно в отношении времени изменений в будущем и влияния взаимодействия (ответных реакций) между компонентами криосферы и климатической системы.

Для снижения неопределенности будущих оценок необходимы более надежные сети наблюдений. Измерения со спутников и летательных аппаратов повысили возможности по наблюдению за некоторыми элементами криосферы Арктики, такими как распространение морского льда и снежный покров. Мониторинг других ключевых элементов криосферы, в частности, толщина морского льда, высота снежного покрова, вечная мерзлота и ледники требует наблюдений с помощью наземного оборудования.

Многие наземные гидрометрические сети по наблюдению за снежным покровом, пресноводным льдом и осадками были сокращены или полностью потеряны, а объекты по наблюдению за морским льдом, материковым льдом и физическими свойствами снега расположены на больших расстояниях друг от друга. Наблюдательные сети должны быть расширены для получения надежных данных о криосфере, которые необходимы для мониторинга, усовершенствования моделей и оценки качества спутниковых наблюдений.

- Что произойдет с Северным Ледовитым океаном и его экосистемами, если к пресноводному стоку прибавится тающий лед и возросший речной сток?
- Как быстро может растаять ледяной щит Гренландии?
- Как изменения в криосфере Арктики повлияют на климат земного шара?
- Как изменения повлияют на население и экономику Арктики?

Ответы на некоторые из этих вопросов требует усовершенствованных наблюдательных сетей. Необходимо лучшее понимание сложного взаимодействия физической, химической и биологической среды в Арктике. Существует нехватка систематически собираемой информации о влиянии криосферных изменений на человеческое общество.

#### **Информирование о криосферных изменениях и их влиянии**

Доклад СВИПА документально подтверждает важность изменений в снежном покрове, водных и ледовых режимах Арктики, вызванных климатическим воздействием, и их глубоких последствий для местного, регионального и мирового сообщества.

Активное информирование о вновь полученных сведениях для повышения осведомленности на глобальном, национальном и местном уровнях позволит гарантировать то, что доклад СВИПА будет полезен людям, проживающим в Арктике.

## Скоординированные меры реагирования на криосферные изменения

Совокупность влияния изменяющейся криосферы, изменений климата и бы-

строго освоения Арктики создает социальные вызовы для арктических сообществ, а также для мирового сообщества. Традиционный уклад жизни наиболее уязвим при изменениях в криосфере.

Необходимо сотрудничество и скоординированные усилия на всех уровнях для реагирования на изменения и повышения способности к адаптации экосистем и населения Арктики.

## Рекомендации

На основании главных выводов доклада СВИПА Рабочая группа АМАП выработала и согласовала следующие рекомендации:

### Адаптация

Члены Арктического совета и правительства на всех уровнях в Арктике должны работать над:

- Выполнением оценок криосферных изменений и связанных с ними рисков на региональном уровне.
- Разработкой и внедрением стратегий адаптации в Арктике, соответствующих масштабам и природе прогнозируемых изменений. Данные стратегии должны учитывать и иные значимые причины изменений.
- Обеспечением того, чтобы стандарты управления природной средой были приняты на местах или могли быть адаптированы с учетом изменений в криосфере. Разработкой нормативной базы, где это необходимо.
- Повышением уровня поисково-спасательных операций и реагирования на опасность вредного воздействия окружающей среды.
- Содействием мерам по повышению точности прогнозов для ледяного покрова, погоды, и состояния моря, а также над тем, чтобы данные прогнозы были доступны населению и организациям Арктики.

### Смягчение

Международные переговоры по сокращению выбросов парниковых газов должны рассматриваться, как дело первоочередной важности.

Государства-члены Арктического совета должны укрепить их лидирующие позиции в данном процессе.

### Наблюдения

Арктические государства и международные организации должны:

- Усовершенствовать и расширить систематический, всеобъемлющий наземный мониторинг криосферы.
- Поддерживать и содействовать разработке дистанционных методов наблюдения за криосферой.
- Разработать и усовершенствовать системы наблюдения за кумулятивным влиянием криосферных изменений на экосистемы и население.
- Расширить исследования процессов, которые важны для моделирования криосферы с тем, чтобы снизить неопределенность предсказаний криосферных изменений. В частности, усовершенствования необходимы в моделировании динамики вечной мерзлоты, взаимосвязей снег/растительность и массового отступления ледников, ледовых куполов и ледяного щита Гренландии.

### Информирование

Члены и наблюдатели Арктического совета должны в индивидуальном порядке или коллективно информировать и просвещать население Арктики и мировое сообщество об изменениях в Арктике, связанных с климатическими изменениями, и о том, как они влияют на население на местном, региональном и глобальном уровнях.

### Потребности политики

Правительства и учреждения на всех уровнях должны повысить степень сотрудничества и координации для реагирования на вызовы и возможности, связанные с изменениями криосферы.

Арктический совет должен выполнять комплексную оценку совокупности воздействий, связанных с изменениями в Арктике, уделяя особое внимание тому, как можно минимизировать экологический ущерб и повысить уровень жизни населения.



# СОДЕРЖАНИЕ

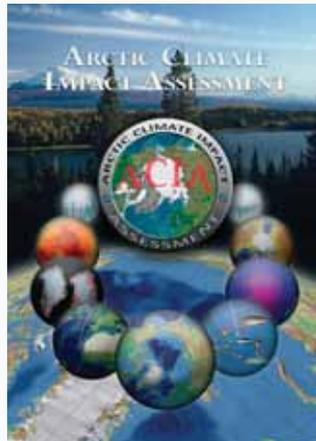
<b>Что изменилось со времени появления в 2005 г. доклада АСИА?</b>	2
<b>■ ЧАСТЬ 1 Как изменяется арктическая криосфера</b>	4
1.1 Криосфера Арктики	6
1.2 Мониторинг изменений, происходящих в арктической криосфере	8
1.3 Снежный покров сокращается	10
1.4 Вечная мерзлота тает	14
1.5 Озера и реки теряют ледяной покров	18
1.6 Горные ледники, ледовые купола и Гренландский ледяной щит тают	20
1.7 Морской ледяной покров в летний сезон резко сократился	24
<b>■ ЧАСТЬ 2 Почему изменяется арктическая криосфера</b>	28
2.1 Климат Арктики меняется	30
2.2 Криосфера взаимодействует с другими составляющими климатической системы	34
<b>■ ЧАСТЬ 3 Ожидаются еще большие изменения</b>	36
Где в Арктике?	38
3.1 Моделирование будущих изменений	40
3.2 Будущие изменения температуры и осадков в виде дождя и снега	42
3.3 Будущие изменения снежного покрова, вечной мерзлоты и ледяного покрова озер и рек	44
3.4 Будущие изменения горных ледников, ледовых куполов и Гренландского ледяного щита	46
3.5 Будущие изменения морского льда	48
<b>■ ЧАСТЬ 4 Как влияют эти изменения на население и природу</b>	51
Где в Арктике?	52
4.1 Изменения арктических экосистем	55
4.2 Изменение в природных ресурсах	63
4.3 Изменение в доступности	69
4.4 Изменение рисков для зданий и ландшафта	72
4.5 Изменение путей переноса загрязняющих веществ	74
4.6 Изменение условий жизни населения в Арктике	76
<b>■ ЧАСТЬ 5 Почему изменения в Арктике имеют глобальное значение</b>	78
5.1 Изменения криосферы Арктики оказывают воздействие на глобальный климат	80
5.2 Таяние арктического материкового льда вносит вклад в рост уровня моря	84
5.3 Последствия для мирового сообщества	86
<b>■ ЧАСТЬ 6 Что необходимо сделать?</b>	89
6.1 Адаптация к изменениям	90
6.2 Главные неопределенности	94
<b>Словарь терминов</b>	96

# ЧТО ИЗМЕНИЛОСЬ СО ВРЕМЕНИ ПОЯВЛЕНИЯ В 2005 Г. ДОКЛАДА АСИА ?

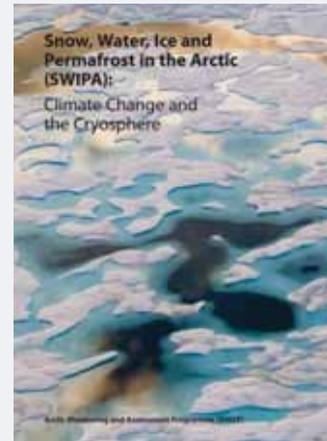
*Оценочный доклад о влиянии изменения климата в Арктике (АСИА) представлял собой оценку изменения климата Арктики и последствий этого воздействия на период до 2003 г., полностью основанную на научных работах, обеспеченную ссылками и прошедшую независимое рецензирование. Доклад был создан международным коллективом, включающим более 300 ученых, других экспертов и специалистов из коренных общин. Этот оценочный доклад был выполнен АМАП и Программой сохранения арктической флоры и фауны (САФФ) совместно с Международным арктическим научным комитетом (МАНК).*

*Результаты, приведенные в АСИА, приняты за исходные, относительно которых были получены данные обновленные оценки изменения криосферы Арктики.*

**АСИА  
2005**



**SWIPA  
2011**



## *Снег*

Площадь снежного покрова в Арктике сократилась на 10 % за последние 30 лет.

Площадь снежного покрова в Арктике для периода май – июнь уменьшилась на 18 % за период 1966–2008 гг.

## *Вечная мерзлота*

Вечная мерзлота потеплела на величину до 2°C за последние десятилетия, и глубина слоя протаивания возрастает с каждым годом на протяжении многих лет. Потепление вечной мерзлоты продолжается по всей Арктике.

За последние два десятилетия толщина слоя сезонного протаивания возросла в Скандинавии и Российской Арктике. В Северной Америке такое явление наблюдается только во внутренних районах Аляски в последние пять лет.

## *Лед на озерах и реках*

Более позднее установление ледяного покрова вместе с более ранним вскрытием льда на озерах и реках привели к сокращению периода ледостава на 1–3 недели за последние 100–150 лет.

Быстрое сокращение периода ледостава на озерах в высоких широтах Канады (более чем на четыре недели за последние 19 лет) превзошло максимальные прогностические оценки, приведенные в АСИА.

## *Горные ледники и ледяные шапки*

Таяние ледников наблюдается по всей Арктике. Особенно быстро происходит отступление ледников на Аляске, составляя почти половину всей мировой потери массы ледников и внося наибольший за историю измерений вклад от таяния ледников в рост уровня моря.

Скорость сокращения ледников постоянно возрастает с 1995 г. и сейчас сопоставима со скоростью потери массы Гренландского ледяного щита. Больше половины потерь массы ледников происходит в Канадской Арктике и на юге Аляски. Таяние ледников Арктики и Гренландского ледяного щита дают главный вклад в рост уровня моря.

## Гренландский ледяной щит

Площадь Гренландского ледникового щита, где наблюдается процесс таяния, выросла, примерно, на 16% за период с 1979 по 2002 г.

С момента начала спутниковых наблюдений площадь таяния постоянно увеличивается. Годовая потеря массы ледникового щита возрастает: потери льда в 2005–2006 гг. возросли в 4 раза (до 205 (± 50) Гт) по сравнению с периодом 1995–2000 гг.

## Морской лед

За последние 30 лет средняя площадь морского ледяного покрова в летний сезон сократилась на 15-20%. Ожидается ускорение этого процесса до почти полного освобождения от морского льда летом, прогнозируемого к концу этого столетия. Толщина морского льда уменьшилась на 10–15% за последние десятилетия, достигая сокращения в 40% в некоторых районах между 1960-ми и 1990-ми годами.

Площадь морского ледяного покрова для сентября месяца в настоящее время примерно на треть меньше, чем средняя площадь для периода 1979–2000 гг. Предполагается, что полностью свободным ото льда в летний период Северный Ледовитый океан станет к середине столетия. Средняя толщина морского льда в зимний период уменьшилась с 3,64 м в 1980 г. до 1,89 м в 2008 г. – т.е. примерно на 50%. Многолетний ледяной покров сократился на 42% за период 2005–2008 г.

## Климат

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

В последние десятилетия в большей части региона наблюдается резкий рост температуры, особенно в зимний период.

Увеличение зимней температуры на Аляске и в Западной Канаде составило около 3–4 °С за последние полвека.

Количество осадков в Арктике (дождь и снег) возросло примерно на 8% за прошедшие 100 лет. Более значительный рост прогнозируется для следующего столетия.

Последние 6 лет (2005–2010 гг.) стали самым теплым периодом за все время наблюдений в Арктике. Последнее потепление наиболее сильно проявилось в весенний и осенний периоды.

В противоположность преобладанию потепления над материком, отмеченного в ACIA, наибольшее потепление для периода с 2005 г. отмечается над акваторией Северного Ледовитого океана.

С 1950 г. наблюдается умеренный рост (около 5%) арктических осадков над материком к северу от 55° с.ш. Однако, пять наиболее влажных лет за этот период пришлось на последнее десятилетие.

## Прогноз предстоящих изменений

Рост глобальных концентраций углекислого газа и других парниковых газов антропогенного происхождения, главным образом, вследствие сжигания ископаемого топлива, согласно прогнозам, станет причиной дополнительного потепления Арктики примерно на 4–7°С в ближайшие 100 лет.

Средняя температура осенне-зимнего периода, согласно прогнозам, возрастет на 3–6°С к 2080 г.

## Рост уровня моря

Прогнозируемый вклад в рост уровня моря от таяния Гренландского ледяного щита и арктических ледовых куполов с 2000 по 2020 гг. составит от –2 до +2 мм/год.

Вклад арктических ледников, ледовых куполов и Гренландского ледяного щита в рост уровня моря с 2003 по 2008 гг. составил 1,3 мм/год. Это около 50% от суммарного роста уровня Мирового океана.

## Влияние на экосистемы

Сокращение площади морского льда приведет к кардинальному сокращению морской территории обитания белых медведей, живущих на льду тюленей и некоторых видов морских птиц, что может привести отдельные виды на грань вымирания. Разрушение вечной мерзлоты окажет воздействие на природные экосистемы, вызывая проседание поверхности грунта, осушение озер, заболачивание и затопление деревьев в затрагиваемых этим процессом районах.

Наблюдается сокращение популяций тюленей-хохлачей, гренландских тюленей, кольчатой нерпы и тихоокеанских моржей вследствие потери морского льда. Таяние насыщенной льдом вечной мерзлоты приводит к осушению болот, что, в свою очередь, становится причиной исчезновения на отдельных территориях населяющих болота видов. В других районах таяние вечной мерзлоты вызывает заболачивание, происходит сдвиг биоразнообразия в сторону болотных видов растительности.

## Воздействие на население

Транспортная система и объекты промышленности на суше, включая нефте- и газодобычу и лесную промышленность, с нарастающей скоростью будут разрушаться вследствие сокращения периодов функционирования достаточно надежных для эксплуатации дорог, прокладываемых по льду и замерзшей тундре. Вследствие таяния промерзшего грунта использование многих существующих зданий, дорог, трубопроводов, аэропортов и промышленных объектов, вероятно, будет нарушено, объекты потребуют перестройки, ремонта и инвестиций. Развитие инфраструктуры в будущем потребует новых элементов проектирования с учетом будущего потепления, что приведет к увеличению расходов на создание объектов и их обслуживание. Сезонное открытие Северного морского пути, вероятно, сделает возможным транс-арктическое судоходство в летний сезон в ближайшие десятилетия.

Разрушения уже происходят. Например, мягкая погода зимой 2009/10 гг. способствовала многочисленным нарушениям перевозок грузовым автотранспортом и местных поездов из-за таяния зимников в Манитобе, Канада, и привело к закрытию части сети ледовых дорог длиной 2200 км. Разрабатываются новые методы проектирования зданий, учитывающие как возможные будущие изменения климата, так и последствия разрушений конструкций. Выросло число трансарктических летних путешествий, главным образом, с научными целями и туристических поездок. В 2009 г. два коммерческих судна прошли Северным морским путем (с небольшой помощью ледоколов).



## ЧАСТЬ I

# КАК МЕНЯЕТСЯ КРИОСФЕРА АРКТИКИ

*“Криосфера” – научный термин, обозначающий часть поверхности Земли, которая находится в замерзшем состоянии. Происходит от греческого слова “криос”, означающего “мороз” или “лед”. Криосфера включает в себя снег, замерзший грунт, речной и озерный лед, ледники, ледяные шапки, ледниковые щиты и морской лед. Все эти составляющие криосферы изменяются с потеплением климата. Наиболее быстрые изменения проявляются в сезонных изменениях снежного покрова и покровного льда с более ранним таянием весной и более поздним установлением снежного покрова и льда осенью или сокращением массы льда летом. Более долговременные явления – оттаивание вечной мерзлоты и таяние ледников и ледовых куполов. Эти изменения будут иметь далеко идущие последствия для природы, населения и общества не только Арктики, но всего мира.*



© Chaikovskiy Igor / Shutterstock.com

### **Площадь снежного покрова сокращается, вечная мерзлота тает**

- Площадь снежного покрова и длительность снежного сезона сократились во всей Арктике. Площадь суши Арктики со снежным покровом в начале лета уменьшилась на 18 % с 1966 г.
- Наиболее значительное сокращение числа дней со снежным покровом происходит в прибрежных районах Аляски и северных районах Фенноскандии.
- Температура вечной мерзлоты повысилась на 2 °С с 1980-х гг. Южная граница вечной мерзлоты переместилась к северу в России и Канаде.
- Ежегодная глубина протаивания почвы над слоем вечной мерзлоты в летний сезон возросла в Скандинавии, в Российской Арктике к западу от Урала и во внутренних районах Аляски.

### **Крупные ледяные образования тают**

- Самые крупные и наиболее устойчивые ледяные образования Арктики – многолетний морской лед, горные ледники, ледовые купола и Гренландский ледяной щит – с 2000 г. стали разрушаться быстрее, чем в 1990-е годы.

- Вскрытие ледяного покрова на озерах и реках в северном полушарии в настоящее время происходит раньше.
- Потеря массы льда Гренландским ледяным щитом возросла с 50 ( $\pm$  50) Гт/год (оценка для 1995–2000 гг.) до 205 ( $\pm$  50) Гт/год в 2005–2006 гг.
- Почти все горные ледники и ледовые купола в Арктике отступили за последние 100 лет. Общая потеря льда, возможно, превысила величину ~150 Гт/год за последние 10 лет.
- Сокращение летнего морского льда происходит быстрее, чем прогнозировалось в 2007 г. в Четвертом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).
- Морской лед в Арктике становится тоньше. Многолетние, толстые льды исчезают и в Северном Ледовитом океане в настоящее время преобладает более тонкий, молодой лед.



© Nightman1965 / Shutterstock.com

## 1.1 КРИОСФЕРА АРКТИКИ

*Криосфера — часть земной поверхности, находящаяся в замерзшем состоянии какую-то часть года. Она включает в себя снег, грунт, постоянно находящийся в замерзшем состоянии, лед на реках и озерах, ледники, ледовые купола, ледниковые щиты и морской лед.*

На протяжении всей истории человечества криосфера определяла Арктику как зимний мир, на время или постоянно укрытый снегом или льдом. Большая часть почвы промерзает до скальных пород. На протяжении года часть льда и снега тают, и вода перемещается между различными компонентами криосферы. Но криосфера Арктики претерпевает изменения. Скорость некоторых из этих изменений возрастает, что окажет значительное воздействие на ландшафты.

### **Взаимодействие элементов криосферы может ускорить изменение**

Элементы криосферы не изолированы друг от друга, они образуют часть динамической системы. Есть несколько видов взаимодействий, которые могут изменить скорость изменения.

- При меньшем количестве морского льда летом поверхность океана может нагреваться сильнее. Это может увеличить скорость потерь льда у стекающих в море ледников Гренландии вследствие нагрева их снизу.
- Снег — это изолирующий слой и на поверхности грунта, и на льду. Более толстый слой снега сохраняет укрытую им поверхность в замерзшем состоянии всю зиму, тогда как тонкий снежный слой и/или раннее таяние снега весной приводят к более раннему вскрытию льда на реках и озерах.

Сложно оценить или предсказать последствия этих взаимодействий для всей Арктики.

### **Арктика как мировой холодильник**

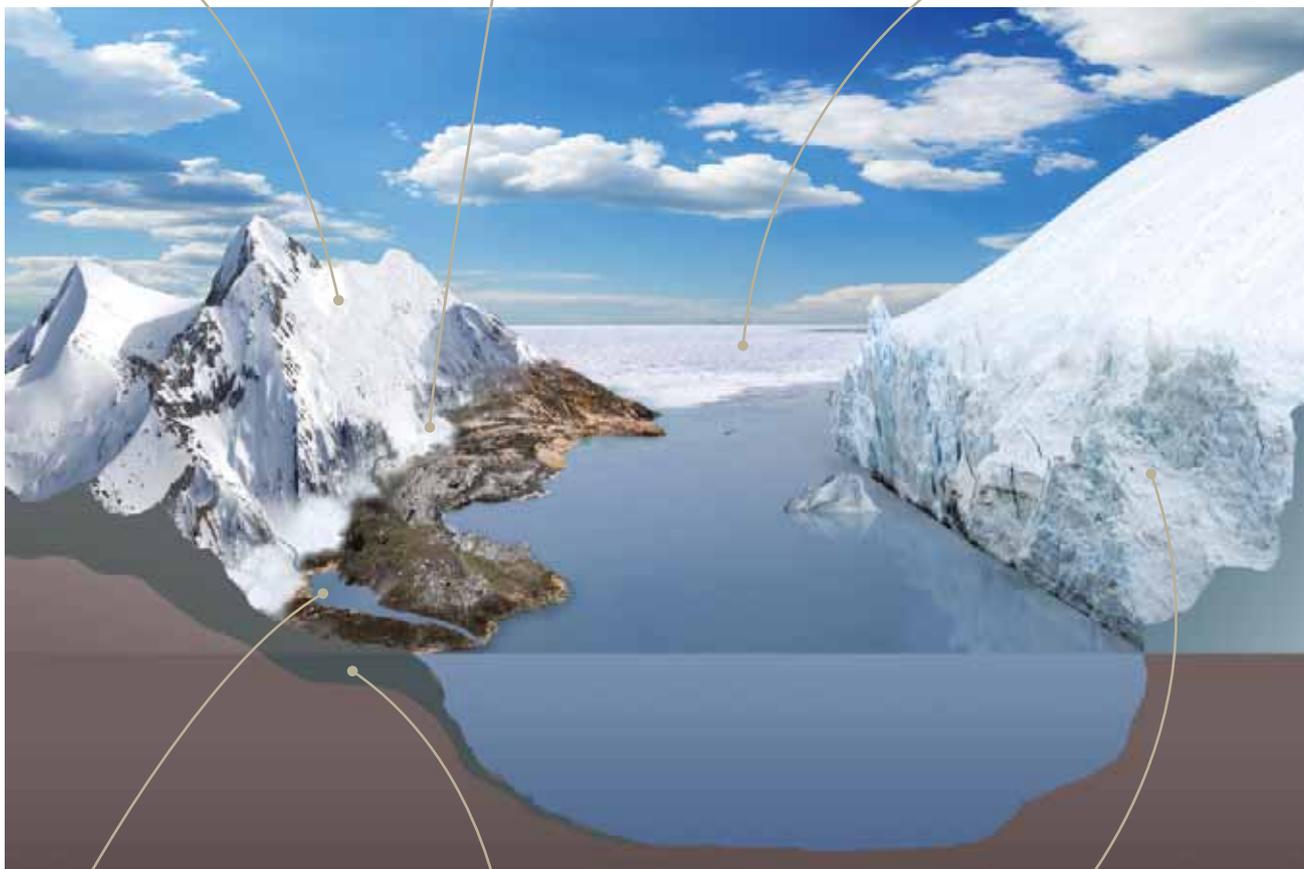
В настоящее время Арктика оказывает охлаждающее воздействие на мировой климат. Это происходит четырьмя путями:

1. Сильным отражением солнечной энергии от обширных белых (ледяных и снежных) поверхностей.
2. Накоплением большого количества углерода в замерзшей почве, что приводит к снижению уровня парниковых газов в атмосфере.
3. Стоком тепла и охлаждением масс теплой воды и воздуха, приходящих с далекого юга.
4. Поставкой морского льда, холодной воды и арктического воздуха в южные широты.

Ледники и ледовые купола сохраняют пресную воду в замороженном состоянии, накапливая выпадающий на поверхность снег на протяжении тысячелетия. Эти скопления льда уменьшаются в размерах во всей Арктике. Потоки талой воды с большей скоростью устремляются в реки и озера, больше пресной воды попадает в океан, вызывая рост уровня моря.

Снег накапливается на поверхности, главным образом, в зимний сезон в виде снежного покрова. Снежный покров – это временное хранилище воды, тем самым он оказывает воздействие на уровень воды в озерах и режим речных потоков. Продолжительность периода существования снежного покрова сокращается во всей Арктике, весной снег тает быстрее и раньше.

Морской лед – это лед, образующийся на поверхности океана, когда температура опускается ниже точки замерзания. Площадь морского льда в Арктике в конце летнего сезона находится на рекордно низких уровнях почти каждый год после 2001 г. Скорость сокращения площади морского льда в летний сезон в последние 10 лет растет. Уменьшение ледяного покрова сильно изменяет окружающую среду арктического океана.



Реки и озера образуют сложную сеть потоков и резервуаров пресной воды, вплетенных в арктический ландшафт. Период ледостава на водоемах сокращается. Это влияет на динамику водных потоков и на сами водоемы. Суммы осадков в виде дождя и снега немного возросли, так же увеличился и сток крупных рек Арктики в северные моря.

Вечная мерзлота – это почва, скальные породы, осадочные образования или любое другое образование, которое остается в замороженном состоянии в течение двух и более лет. Вечная мерзлота образует непроницаемый подповерхностный слой, препятствуя проникновению воды вниз и приводя к повышению уровня воды и созданию условий переувлажнения во многих районах. Вечная мерзлота теплеет, в некоторых районах она начала оттаивать.

Гренландский ледниковый щит – это массивное ледяное образование до 3050 м толщиной. Это самое большое в Северном полушарии хранилище пресной воды в замороженном состоянии, оно содержит около 3 млн км<sup>3</sup> льда. Скорость потерь льда на границах ледяного щита растет с 2000 г., и в настоящее время ледяной щит уменьшается в размерах.



## 1.2 МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЙ, ПРОИСХОДЯЩИХ В АРКТИЧЕСКОЙ КРИОСФЕРЕ

Изменения в криосфере происходят с разными временными масштабами, от сезонных изменений снежного покрова или льда на реках и озерах до многовековых процессов, таких как уменьшение размеров Гренландского ледяного щита или таяние вечной мерзлоты.

Некоторые наблюдаемые изменения затрагивают большую территорию

одновременно, например, изменения морского льда в Арктике.

Пространственная шкала других изменений меньше, например, изменения ледяного покрова на реках и озерах. Такие различные масштабы изменений предполагают необходимость набора различных методов наблюдений, мониторинга и прогноза изменения криосферы на всей территории Арктики.

### Как криосфера взаимодействует с другими системами

Криосфера является неотъемлемой частью климатической системы. Экосистема и человеческое общество тесно связаны с криосферой и испытывают на себе последствия изменений, происходящих в ней. Изменение климата, характеризующееся средней температурой, суммой осадков в виде дождя и снега, и ветровым режимом, является основной причиной изменения криосферы. Эти климатические характеристики также подвергаются воздействию изменений, происходящих в криосфере. Например, сокращение площади морского льда может привести к повышению температуры над поверхностью Северного Ледовитого океана.

Арктические экосистемы – леса, тундра, озера, реки, болота и океан – места обитания видов, которые нигде больше на Земле не встречаются.

Они также предоставляют богатые кормом и удобные для размножения условия для животных, мигрирующих из далеких южных районов. Изменения, происходящие в криосфере, такие, как таяние вечной мерзлоты и сокращение площади морского льда, изменяют фундаментальные свойства экосистем. Изменения свойств поверхности, уровней освещенности, режима водных потоков и доступа к пище уже оказывают воздействие на многие арктические виды – от деревьев до китов.

Человеческое общество с его сложными социальными и экономическими связями зависит от криосферы во многих отношениях. Обществу надо будет приспосабливаться к переменам локального, регионального и глобального масштаба, так как меняются ледовый и снежный режимы, меняется глобальный климат и уровень моря.

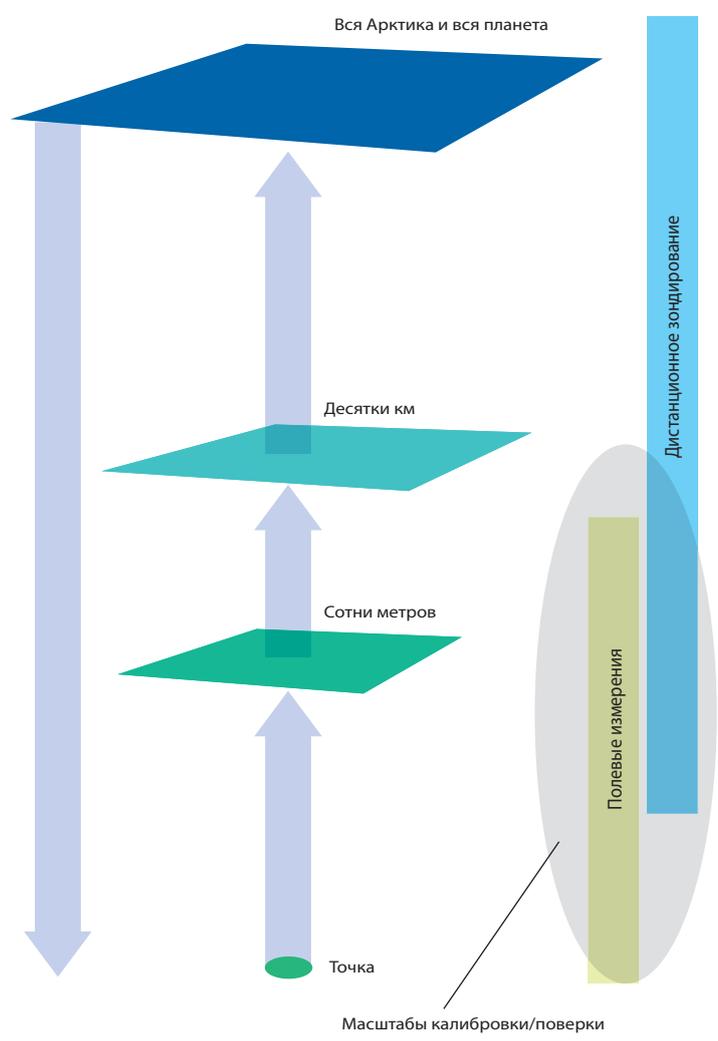
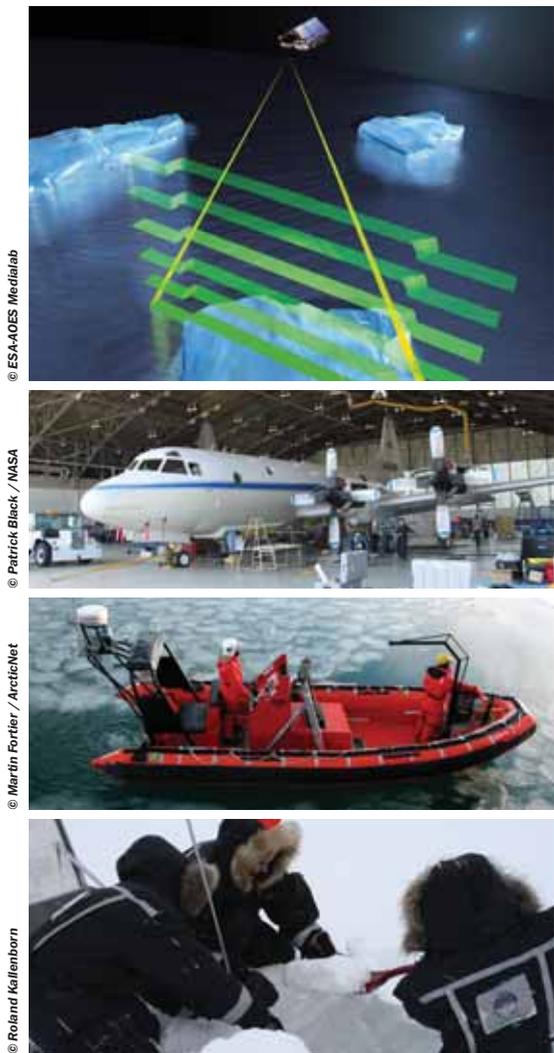
### Выделение долгопериодного изменения из естественной изменчивости

Отдельные составляющие криосферы значительно меняются за короткие промежутки времени (сезонно или год от года) и или от одного района к другому. На фактическую температуру, снежные осадки, ветровой режим и, как следствие, на поведение снежного покрова и льда, влияет очень большое число факторов. Ученые знают, что такие сложные природные системы демонстрируют широкое разнообразие, не придерживаясь легко определяемых режимов из года в год. Чтобы отделить долгопериодное изменение от естественной изменчивости требуются данные наблюдений за много лет. Единичный год, когда криосфера ведет себя не так, как в предыдущие пять или десять лет, или с неожиданно низкой или высокой температурой, не будет репрезентативным. В данном контексте, изменения арктического морского льда за последние десять лет носят драматический характер и представляют очевидное отклонение от многолетнего режима.



© / Goddard Space Flight Center, and ORBIMAGE

Различные виды систем наблюдений (спутниковые, самолетные, наблюдения в точке) и масштабы наблюдений



# ПЛОЩАДЬ СНЕЖНОГО ПОКРОВА СОКРАЩАЕТСЯ

*Снег — основная особенность ландшафта высокоширотной Арктики на протяжении от восьми до десяти месяцев в году, ежегодно. Он оказывает сильное влияние на растительный мир, животных и население Арктики, а также воздействует непосредственно на климат.*

Количество снега в Арктике измеряют различными путями.

Три самых важных параметра:

- число дней со снежным покровом (длительность снежного периода)
- площадь поверхности суши, покрытая снегом в данный момент времени (протяженность снежного покрова)
- актуальное количество снега (часто измеряемое как высота снежного покрова).

Длительность снежного периода и протяженность снежного покрова, которые в настоящее время могут быть измерены со спутников, сокращаются.

Более неопределенной является величина изменения высоты снежного покрова, так как она должна измеряться в точках, и наблюдения не могут охватывать большие площади.

Карты на следующей странице показывают, как изменилось число дней со снежным покровом в период с 1972 по 2008 гг. согласно еженедельным данным, получаемым со спутников.

Сокращение длительности снежного периода затрагивает значительно более обширную территорию и наиболее заметно весной, а не осенью. Самые значительные сокращения длительности снежного периода (темно-оранжевый/красный) наблюдаются в прибрежных областях, особенно на побережье Аляски, в северной Скандинавии и северной Канаде.

В среднем в Арктике период с зимним снежным покровом сокращался на 4 дня каждые 10 лет в период с 1972/73 по 2008/2009 гг. Начиная с 1978 г. продолжительность снежного периода сокращалась на 4–9 дней за каждые 10 лет на всем побережье Арктики за исключением берегов Карского и Чукотского морей.

Также сокращается территория, покрытая снегом. Спутниковые снимки показывают, что площадь суши со снежным покровом в мае и июне уменьшилась на 18 % за период с 1966 по 2008 гг.

## Как мы узнаем, сколько имеется снега?

Измерения для всей Арктики, такие как длительность периода со снежным покровом и протяженность снежного покрова, могут проводиться на основе спутниковых снимков. Базы данных Национального управления океана и атмосферы (НУОА) США содержат еженедельные данные протяженности снежного покрова практически без пропусков начиная с 1966 г. — наиболее продолжительный ряд спутниковых данных об окружающей среде.

Характеристики снега, значимые для отдельной территории — это высота снега, его плотность и общее количество снега (измеряемое как высота столба воды из растаявшего снега). Эти величины не могут быть легко измерены со спутников, поэтому их следует измерять на почве. Эти данные имеют большую пространственную и временную изменчивость, зависят от погодных условий, ветрового режима и рельефа поверхности.

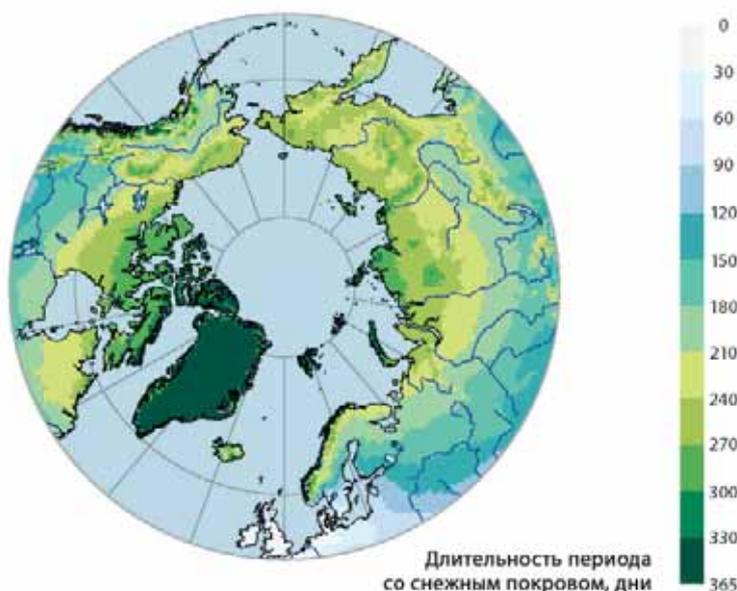
Наиболее надежные данные получают из ежедневных измерений высоты снежного покрова, выполняемых на сети станций, расположенных по всей Арктике. На отдельных станциях ряды измерений начались в 1937 г. В некоторых районах сеть станций достаточно редкая, например, в Сибири, а в высоких широтах Канадской Арктики и Гренландии станции, в основном, расположены на побережье.

## ОБЪЯСНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

### Длительность периода со снежным покровом

Число дней, когда не менее 50 % видимой поверхности суши имеет непрерывный снежный покров.

## Средняя длительность периода со снежным покровом, 1998–2007 гг.

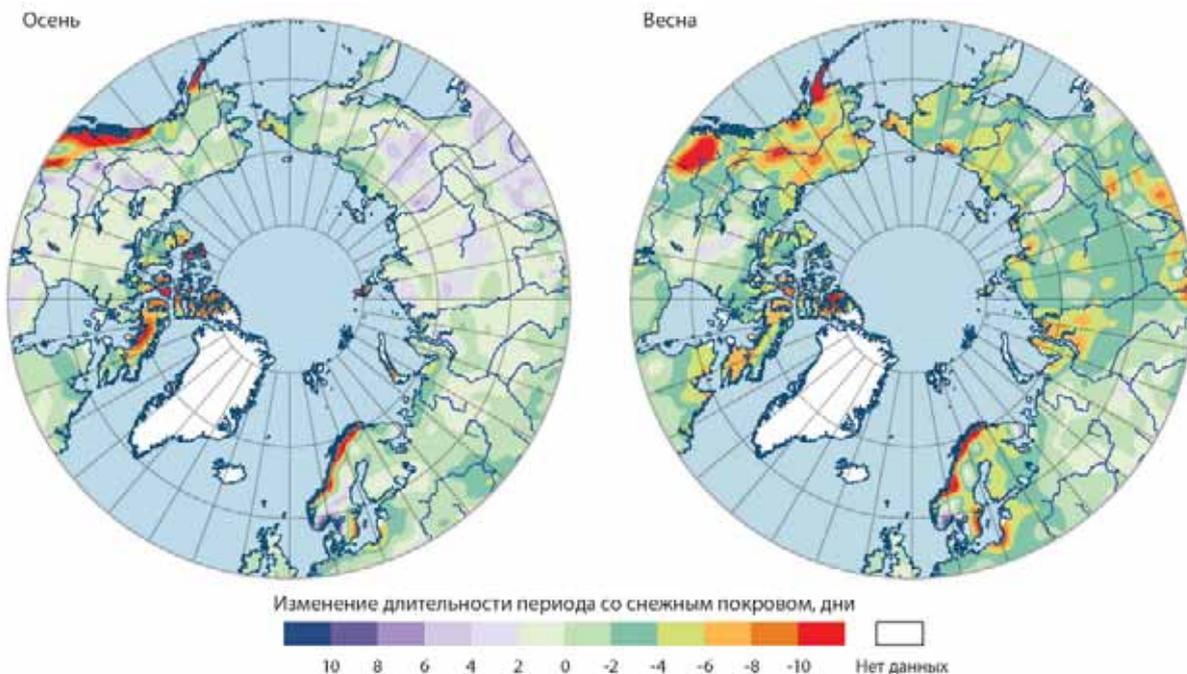




© B&amp;C Alexander / ArcticPhoto

Изменение длительности периода со снежным покровом для осеннего сезона (установление снежного покрова) и для весеннего сезона (таяние снежного покрова) в период между 1972/73 г. и 2008/09 г.

*Наиболее значительное и последовательное изменение режима снежного покрова — это более раннее таяние снега весной.*





### Не везде одинаково

Изменения снежного покрова не везде одинаковы. В арктических районах Северной Америки продолжительность периода со снежным покровом и его толщина постоянно уменьшались, начиная с 1950 г. В северной Европе и Сибири продолжительность периода со снежным покровом сокращалась с 1980 г., но его толщина уменьшалась не всегда.

В северной части России снежный покров в действительности стал устанавливаться осенью скорее раньше, чем позже. Это увеличило продолжительность периода со снежным покровом на 2–4 дня относительно 1972 г.

Толщина снежного покрова в зимний период также растет в некоторых районах европейской Арктики. В России число дней в году со снежным покровом высотой более 20 см возросло в период с 1966 г. по 2007 г. В Западной Сибири и на побережье Охотского моря снежный покров такой толщины лежит примерно на один день дольше каждый год с 1966 г.

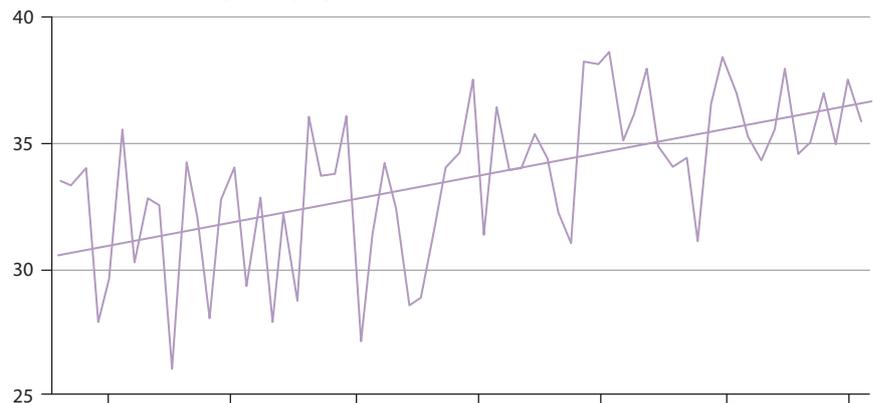
### Почему снежный покров становится толще в северной Скандинавии и России?

На большей части территории Арктики вследствие роста температуры воздуха снега на поверхности сейчас меньше, чем это было чуть менее 40 лет назад. Тогда почему происходит обратное в северной части России? Растущая толщина снежного покрова в евразийской части Арктики и более раннее выпадение снега в северной России могут быть частично обусловлены сильным отступлением морского льда летом в евразийской части Северного Ледовитого океана.

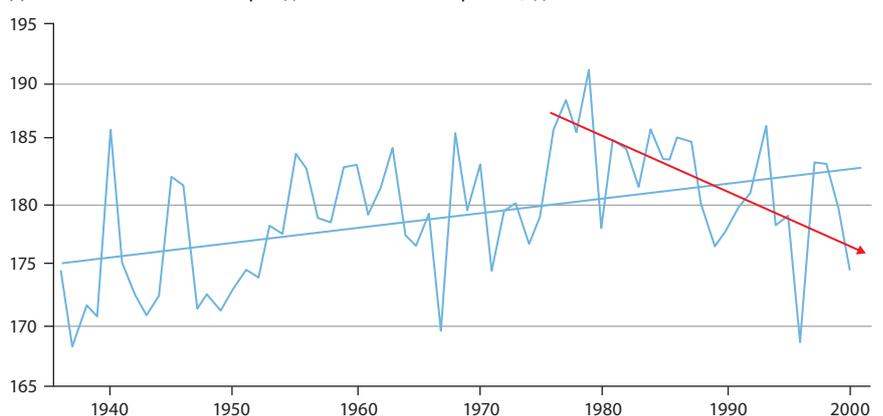
Появляется больше открытой воды в конце летнего сезона, что увеличивает испарение с поверхности океана в атмосферу, образование более влажного воздуха и более сильные снегопады дальше к югу. Произошли также изменения погодного режима. За последние годы системы низкого давления стали более интенсивными и наблюдаются над северной Европой чаще, что может вызывать более сильные снегопады. Эти процессы связаны «дипольной аномалией» в Арктике, описание которой приведено на стр. 32.

### Долгопериодные изменения толщины снежного покрова и длительности периода со снежным покровом в Северной Европе

Толщина снежного покрова в феврале, см



Длительность зимнего периода со снежным покровом, дни





### Таяние в Закенберге

Фотографии, полученные с фотокамеры с покадровой съемкой на мониторинговой станции Закенберг в Гренландии автоматически анализируются для определения сроков и скорости таяния снега.



### Что меняет присутствие снега?

Снег действует как отражающее покрывало на поверхности почвы и льда в Арктике. Он играет две важных роли. Он отражает солнечное тепло, охлаждая воздух у поверхности. И он изолирует грунт зимой, предотвращая в некоторых районах сильное промерзание верхних слоев почвы и защищая находящуюся под ним растительность от повреждений суровым морозом.

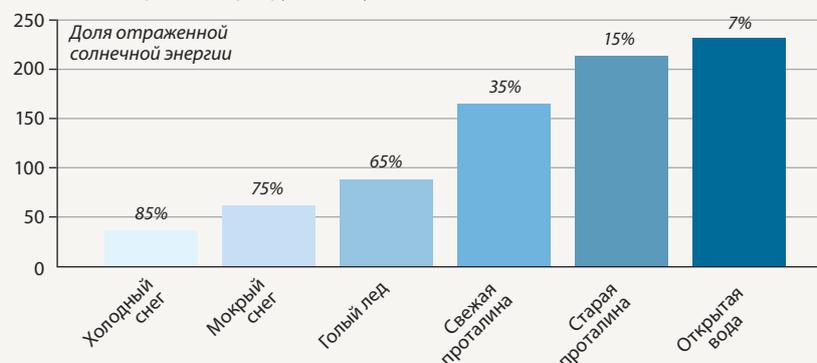
Снег отражает больше солнечной энергии, так как он белый и более «отражающий», чем более темная поверхность грунта под ним. На самом деле, снег – наиболее сильно отражающая естественная поверхность на Земле. Уменьшая количество энергии, достигающей грунта, снежный покров снижает температуру в нижней атмосфере, так как наибольшее количество тепла вблизи поверхности поступает туда от нагретого грунта. Установление снежного покрова в Арктике осенью происходит вместе с резким падением температуры приземного воздуха на величину до 10 °С. По крайней мере, половина этого стремительного изменения температуры обусловлена отражающим эффектом снега.

Весной и в начале лета, когда Арктика прогревается и снег тает, происходит обратное. Почва, скальный грунт и растительность, находящиеся под снегом, более темные и поглощают больше солнечной энергии. Сразу после схода снега грунт быстро прогревается, нагревая воздух над ним, что, в свою очередь, вызывает более сильное таяние снега, и так продолжается, пока снег не исчезнет.

Основное следствие сокращения снежного покрова во всей Арктике –

рост скорости потепления, особенно весной. Выполненные оценки показывают, что сокращение периода снежного покрова в Арктике, которое наблюдалось между 1970 г. и 2000 г., стало причиной ежегодного дополнительного потепления, эквивалентного примерно 5 % от величины потепления, обусловленного антропогенными выбросами углекислого газа.

Солнечная энергия, абсорбируемая в сутки, Вт/м<sup>2</sup>



### Что происходит, когда площадь снежного покрова сокращается?

- Весной и летом больше солнечного тепла поглощается подстилающей поверхностью, когда протяженность снежного покрова и продолжительность снежного периода сокращаются (см. раздел 2.2).
- Осенью и зимой почва остывает сильнее там, где меньше снега, и является более теплой там, где снежный покров толще (см. раздел 2.4).
- Количество талой воды весной и летом сокращается, что оказывает воздействие на болота, ресурсы пресной воды и жизненный цикл деревьев (см. раздел 4.1).
- Кратковременные протаивания зимой убивают находящуюся под снегом растительность, что имеет серьезные последствия для травоядных животных (см. раздел 4.1).
- Рост растений, и, как следствие, накопление углерода усиливаются в районах с неограниченным водным снабжением летом (см. раздел 5.1).
- Транспортные маршруты, прокладываемые по снегу, доступны более короткое время, что влияет на лесную промышленность и сферу туризма (см. раздел 4.3).



© GeorgeBurba / IStockphoto

## 1.4 ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА ТАЕТ

*Вечная мерзлота — это почва, скальный грунт или осадочные породы с температурой ниже 0° на протяжении двух и более последовательных лет. Сорок лет наблюдений показывают, что вечная мерзлота в последние годы стала теплеть и таять.*

Вечная мерзлота залегает под большей частью территории арктической суши. В некоторых районах Сибири ее толщина достигает 1500 м. В слое вечной мерзлоты вода находится в замёрзшем состоянии и склеивает между собой частицы почвы, скального грунта или осадочной породы. Этот непроницаемый слой льда, залегающий ниже поверхности, формирует ландшафт. Он предотвращает отток воды из вышележащих слоев летом, приводя к высоким уровням воды и переувлажненным условиям на протяжении многих лет. Также он служит прочным основанием для строительства со времен появления людей в Арктике.

Наблюдения за температурой в скважинах, начатые 40 лет назад, показывают, что вечная мерзлота под поверхностью суши в Арктике потеплела примерно на 2 °С, особенно в более холодных районах (обычный диапазон вариаций температуры вечной мерзлоты составляет от –16 °С

до почти 0 °С, в зависимости от местоположения).

Несколько верхних метров вечной мерзлоты растаяли после 1970 г. на нескольких арктических станциях в низкоширотной Арктике, главным образом, на торфяниках Скандинавии, России и Канады. В отдельных районах с неглубоким слоем вечной мерзлоты она растаяла полностью. Южная граница вечной мерзлоты сместилась к северу на расстояние от 30 до 80 км в Западной Сибири за период с 1970 по 2005 г. и на 130 км в Квебеке за последние 50 лет.

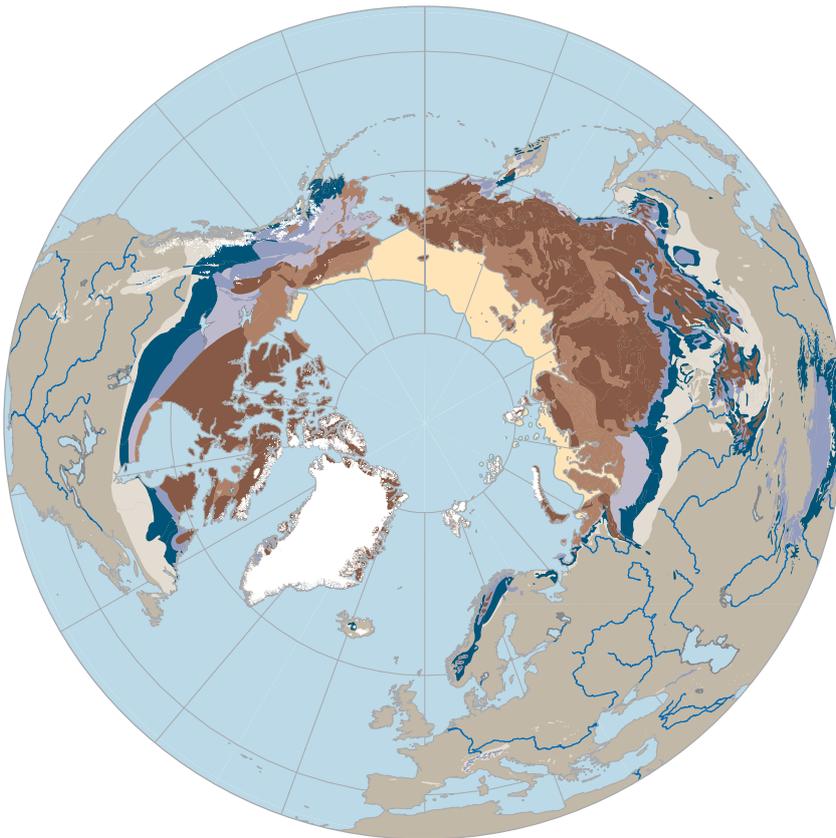
Слой вечной мерзлоты есть на дне Северного Ледовитого океана. Его называют подводной вечной мерзлотой. Этот слой, в основном, наблюдается там, где суша была затоплена океаном в конце последнего ледникового периода 10000 лет назад. Его оттаивание может привести к очень большим выбросам метана в атмосферу (см. раздел 5.1).

### **Деятельный слой над вечной мерзлотой стал толще в некоторых районах**

Слой над вечной мерзлотой, который регулярно замерзает и оттаивает (называемый “деятельным слоем”) постепенно становится толще на протяжении последних 20 лет в Скандинавии и Российской Арктике. Сейчас в некоторых районах его толщина возросла на величину до 20 см. Толщина деятельного слоя измеряется на 168 станциях, расположенных по всей Арктике с начала 1990 гг.

В североамериканской Арктике толщина деятельного слоя остается относительно постоянной на большинстве станций, но она растет в некоторых внутренних районах Аляски на протяжении последних 5 лет.

**Где расположена вечная мерзлота?**



Протяженность вечной мерзлоты, % от площади

- Сплошная (90-100 %)
  - Толстый слой (>5-10 м)
  - Тонкий слой (<5-10 м) и выход коренных пород на поверхность
- Прерывистая (50-90 %)
  - Толстый слой (>5-10 м)
  - Тонкий слой (<5-10 м) и выход коренных пород на поверхность
- Островная (10-50%)
- Редко-островная (0-10%)
- Подводная вечная мерзлота
- Арктические ледники и ледяные щиты

**ОБЪЯСНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ**

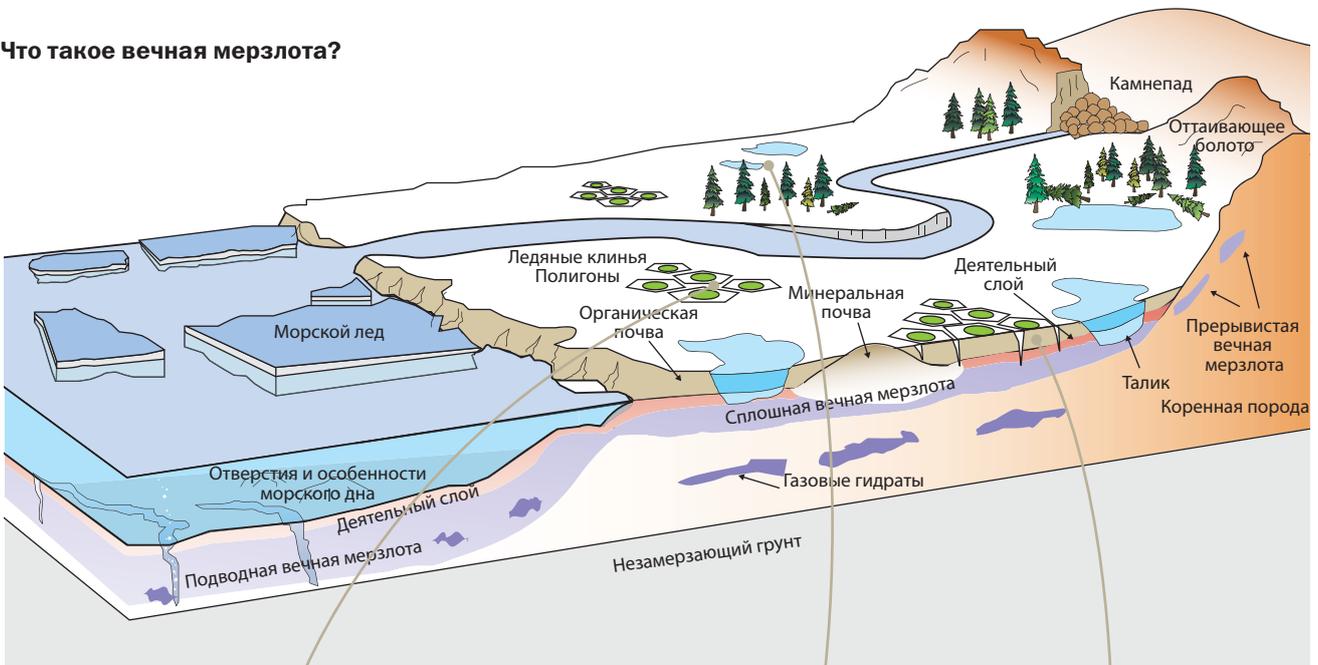
**Вечная мерзлота**

Почва, скальный грунт или осадочные породы, остающиеся в замерзшем состоянии (с температурой ниже 0°) на протяжении двух и более последовательных лет.

**Деятельный слой**

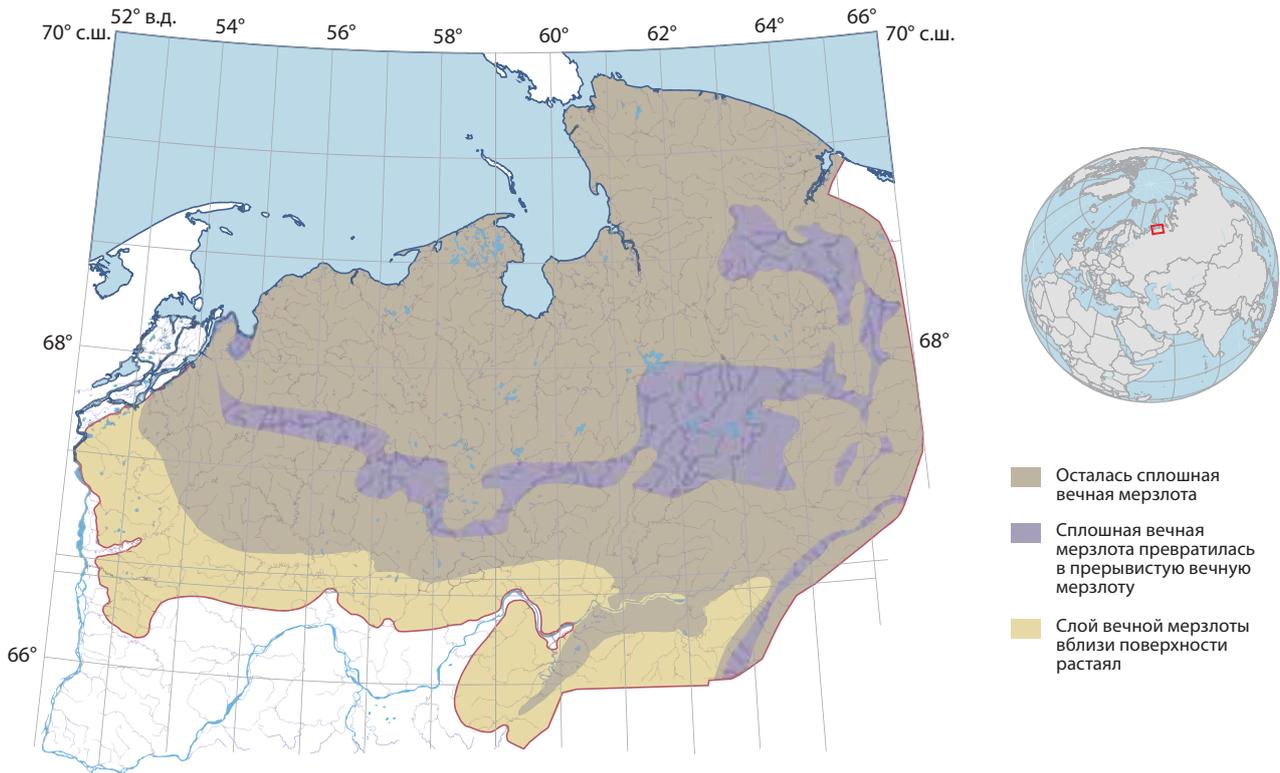
Слой до нескольких метров толщиной над слоем вечной мерзлоты, который каждый год оттаивает и замерзает.

**Что такое вечная мерзлота?**



*Южная граница вечной мерзлоты сместилась к северу на расстояние от 30 до 80 км в северо-западной части России за период с 1970 по 2005 г.*

**Изменения динамики вечной мерзлоты в северо-западной части России между 1970 и 2005 гг.**



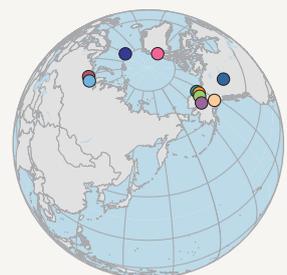
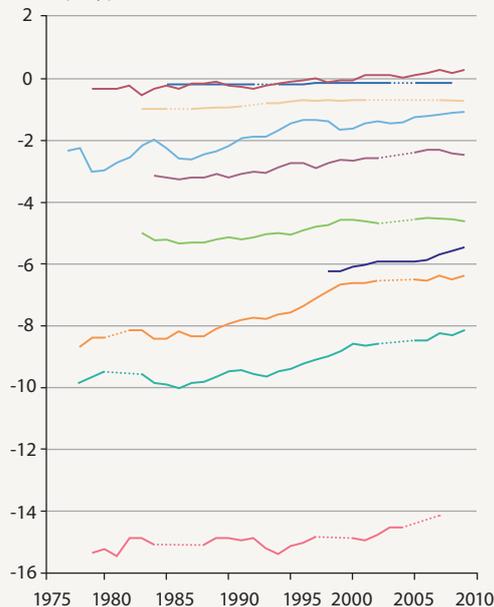
**Температура вечной мерзлоты растёт**

Температура вечной мерзлоты измеряется на минимальной глубине, где она не меняется в течение всего года. Данная диаграмма показывает температуру вечной мерзлоты, измеренную на 10 станциях в России, на Аляске, в Канаде и на Шпицбергене.

Почти все температурные ряды демонстрируют потепление, в основном, в диапазоне от 0,5 до 2 °C за последние два или три десятилетия, с наибольшим ростом температуры на более холодных станциях. Диапазон температур вечной мерзлоты между станциями стал меньше на 1 °C, чем это было 30 лет назад.

Эти изменения связаны с изменениями средней температуры воздуха. В западной части Северной Америки скорость потепления уменьшается с 1998 г., который стал годом с самой высокой температурой воздуха за период измерений в данном регионе.

Температура в скважине, °C





© Courtesy of Bo Elberling, Univ. of Copenhagen

*В течение Международного Полярного года (2007-2008 гг.) в Арктике было создано 300 новых станций наблюдений для сбора данных о температуре вечной мерзлоты.*

### **Что происходит, когда тает вечная мерзлота?**

- растут эмиссии метана и углекислого газа (см. раздел 5.1)
- появляется угроза безопасности строений и объектов инфраструктуры (см. раздел 4.4)
- почва либо высыхает, либо заболачивается (см. раздел 4.1)
- расположенные низко над уровнем моря прибрежные районы могут быть полностью разрушены (см. раздел 4.4)

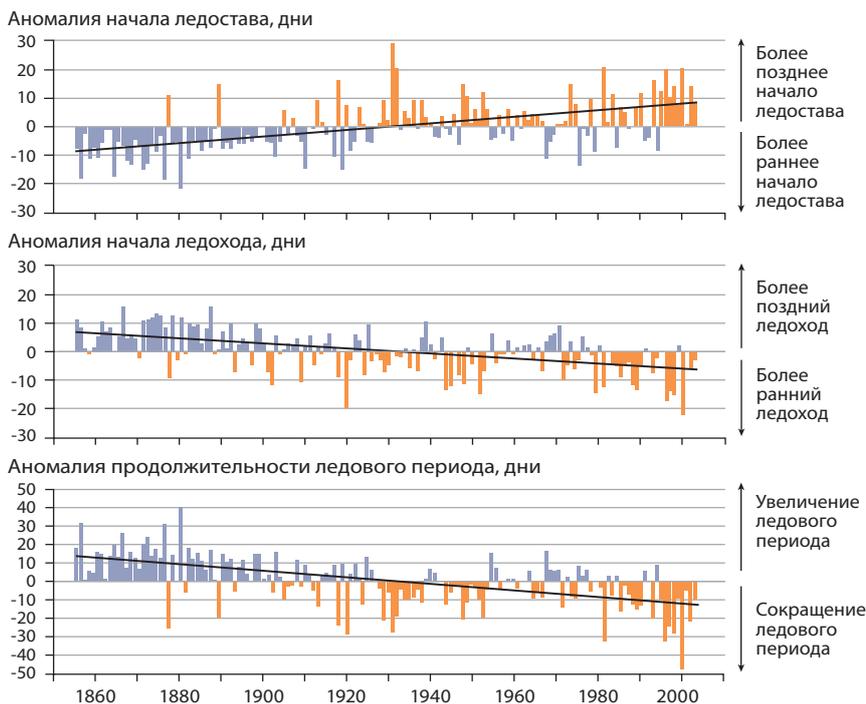


© cecoffman / Shutterstock.com

## 1.5 ОЗЕРА И РЕКИ ТЕРЯЮТ ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ

*В Арктике существуют тысячи озер, ручьев и рек и много крупных речных систем. Все они вплетены в ландшафт, образуя сложную сеть потоков и резервуаров пресной воды. Все они покрываются льдом на какую-то часть года, и большинство — на период от шести до двенадцати месяцев. Изменяющаяся динамика этого льда окажет существенное воздействие на арктическую систему.*

### Долгопериодное изменение ледового режима озер Северного полушария



Сокращение ледяного покрова на арктических озерах и реках подтверждается прямыми наблюдениями за льдом и данными о биологии озер, получаемыми из осадочных пород. Некоторые очень быстрые изменения в недавнее время наблюдались в группе озер северной части Канадской Арктики.

У некоторых озер северного полушария за последние 150 лет даты начала ледостава сместились на более поздние сроки, а даты вскрытия льда — на более ранние. Озера, где обе даты сместились, оставались покрытыми льдом, в среднем, на 17 дней меньше, чем 150 лет назад. Но достоверные длительные ряды данных доступны только для малого числа озер.

Ряды данных длиной до 100 лет были проанализированы для большей группы озер и рек в отдельных регионах. Они также показали более поздний ледостав и более раннее вскрытие льда, хотя присутствуют и региональные различия.

Например, во второй половине XX столетия речной лед вскрывался значительно раньше на реках западной части Северной Америки, но на реках восточной части этого не наблюдалось. Это различие связывают с постоянным присутствием системы низкого давления над западной частью Северной Америки, которая обуславливает более теплые зимы с середины 1970-х годов и принадлежит к крупномасштабным системам океанической циркуляции, таким как тихоокеанское десятилетнее колебание.

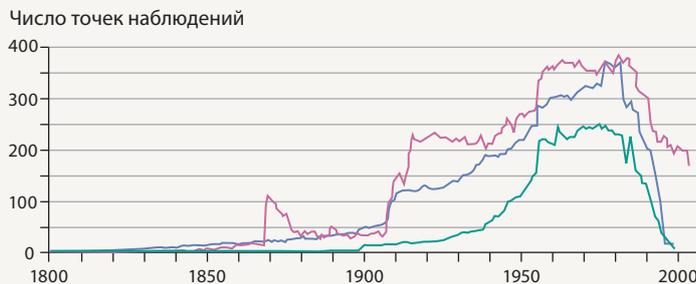
В России длительность периода, когда реки и озера покрыты льдом, сократилась на величину от двух до четырнадцати дней для периода 1980–2000 гг. по сравнению с периодом 1950–1979 гг. Самое большое сокращение периода с ледовым покрытием выявлено на озерах в азиатской части России.

### Быстрая потеря льда на озерах высоких широт Канадской Арктики

Самое быстрое сокращение длительности периода, когда озера покрыты льдом, отмечено на шести озерах высоких широт Канадской Арктики, где ледяной покров держался, в среднем, на 1,75 дней меньше с каждым годом в период между 1985 и 2004 гг. Это значит, что период, когда озера были покрыты льдом, сократился, в среднем, более чем на месяц (на 33 дня) в 2004 г. по сравнению с 1985 г.

### Сокращение программы наблюдений за льдом на озерах и реках

Наибольшую часть информации о долгопериодных изменениях озерного и речного льда дают наземные наблюдения. Обычно это даты установления ледяного покрова и его вскрытия, иногда также толщины льда. С середины 1980-х гг. число таких наземных систем наблюдений существенно сократилось.



Диаграмма, приведенная выше, показывает число точек наблюдений, чьи данные включены в три различных базы данных наблюдений за льдом с 1980 г. Резкое изменение частично обусловлено тем, что станции погоды становятся автоматическими, и, частично – сокращением финансирования. В результате ряды данных о динамике ледового режима на озерах и реках потеряли непрерывность, что сильно затрудняет выявление долгопериодных изменений.

Дистанционное зондирование со спутников еще не может заменить такие наземные наблюдения. Ожидается, что возможность проведения мониторинга за льдом на реках и озерах во всей Арктике со спутников появится в будущем.



*На некоторых озерах в высоких широтах Канадской Арктики к 2004 г. период с ледяным покровом сократился на один месяц по сравнению с 1985 г.*

### Водоросли в озерных отложениях служат индикатором недавних изменений ледового покрова

Отложения на дне озер хранят данные о прошлом озера, так как они содержат микроскопические водоросли, называемые диатомовыми, которые жили в воде озера. Как только меняются условия ледяного покрова в озере, меняются и типы диатомовых водорослей, живущих в нем. Сообщества диатомовых водорослей, обитающие в озерах от небольших до средних размеров, расположенных в высоких широтах Канадской Арктики и России, изменились за последние 100 лет, в отдельных случаях – драматически. Изменения подтверждают сильное сокращение ледяного покрова.

Например, озеро Соутус в горах Соутус в центральной части острова Элсмир с 1920-х гг. очень быстро стало заселяться микроскопическими диатомовыми водорослями, которых здесь не было в течение 2000 лет.



### Что происходит, когда лед на озерах исчезает на длительные периоды?

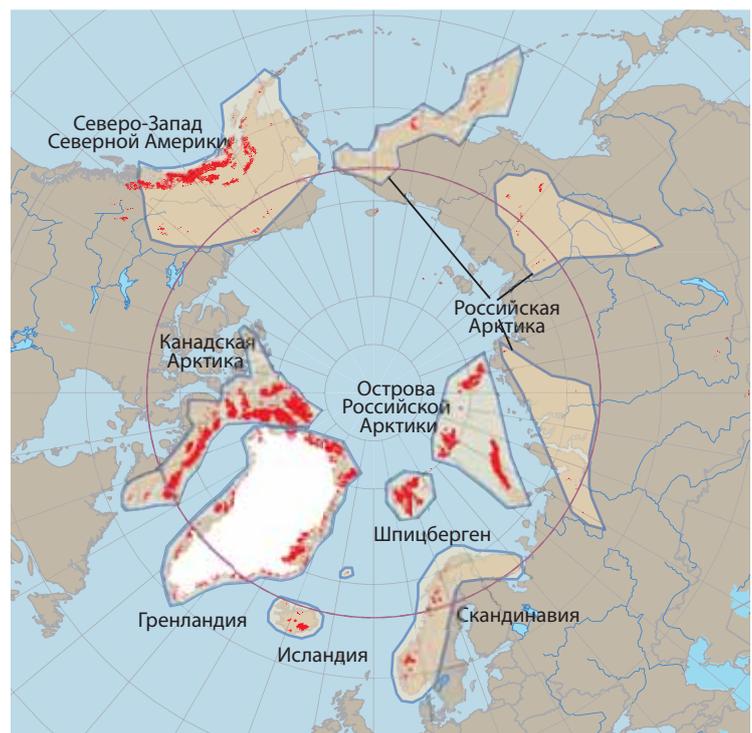
- Озерная вода становится теплее летом и осенью
- Растут эмиссии метана и углекислого газа (см. раздел 5.1)
- Жизнь в озерах подвергается воздействию новых условий, включая более высокие уровни ультрафиолетовой радиации, способной нанести вред (см. раздел 4.1)
- Транспортные пути, прокладываемые по льду рек и озер, прерываются на более долгие периоды (см. раздел 4.3)
- Изменения во вскрытии речного льда могут изменить режимы наводнений и ландшафт в целом (см. раздел 4.1)



© Svetlana Privezentseva / Shutterstock.com

## 1.6 ГОРНЫЕ ЛЕДНИКИ, ЛЕДОВЫЕ КУПОЛА И ГРЕНЛАНДСКИЙ ЛЕДЯНОЙ ЩИТ ТАЮТ

*2 930 000 км<sup>3</sup> льда, законсервировано в Гренландском ледяном щите, и около 250 000 км<sup>3</sup> в ледовых куполах и горных ледниках в Арктике. Если бы весь этот лед растаял, уровень Мирового океана повысился бы на 7,9 м. Несколько очевидных источников указывают на то, что эти гигантские скопления льда уменьшаются в размере с ростом температуры, хотя не предвидится, что все они исчезнут в ближайшем будущем. Потребовались бы тысячи лет, чтобы Гренландский ледяной щит полностью растаял.*



■ Пан-Арктические ледники    ■ Пан-Арктические ледниковые районы    □ Гренландский ледяной щит    — Полярный круг



## ОБЪЯСНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

### Ледовый купол

Куполообразное ледяное образование, которое целиком покрывает гору, находящуюся под ним, и принимает ее форму. Покрывает менее 50 000 км<sup>2</sup> и значительно меньше по размерам, чем «ледяной щит».

### Ледник

Ледяное образование, чья форма и размеры определяются скальным основанием - лед ограничивается, например, краями долины.

### Гигатонна

Одна гигатонна (1 Гт) – это 1 миллиард тонн (1 000 000 000 т), или 1 триллион килограмм (1 000 000 000 000 кг).

1 гигатонна льда на 10 % больше, чем кубический километр (т.е., 1,1 км<sup>3</sup>).

## Как мы узнаем, сколько теряется льда?

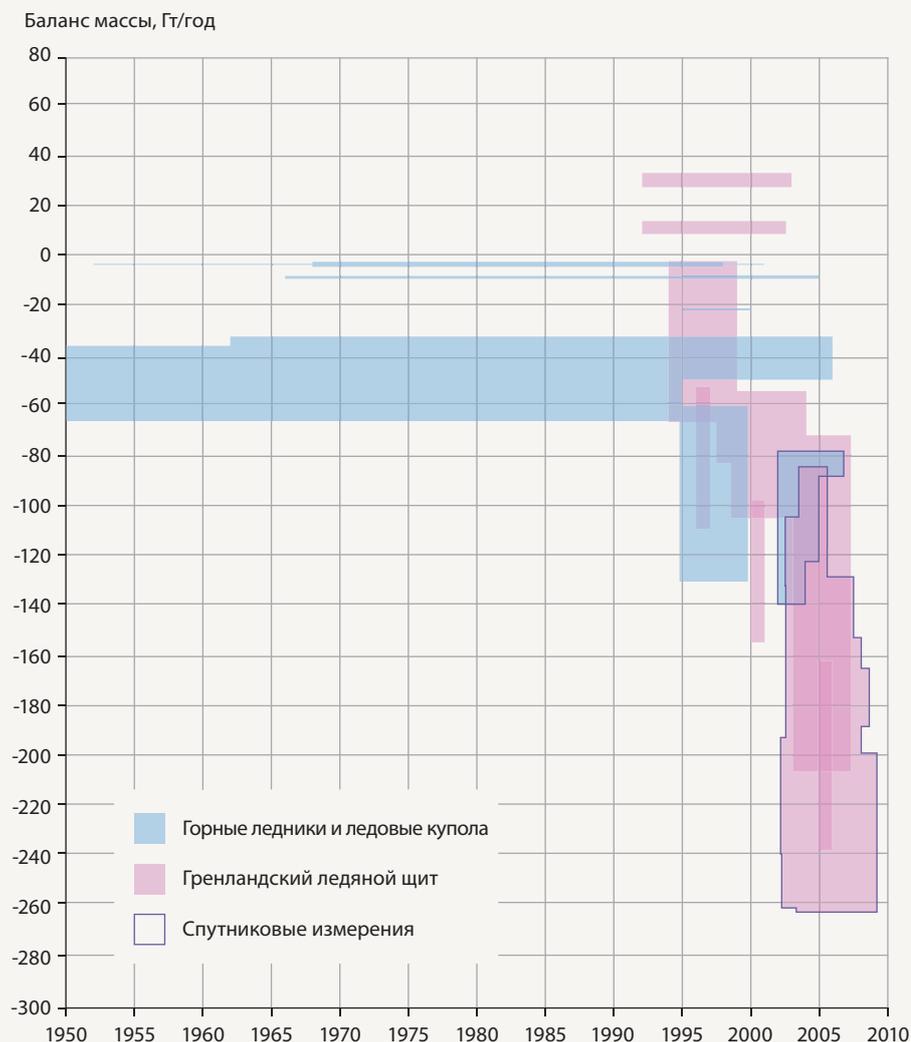
Есть три способа измерить изменение количества льда в леднике или ледяном щите.

- **Баланс массы.** При этом подходе непосредственно измеряется количество льда, поступившее (в виде выпавшего снега) и потерянное (в виде талой воды и айсбергов) и эти значения используются для расчета величины изменения общего количества льда.
- **Альтиметрия поверхности.** «Альтиметрия» использует отраженные лучи лазера или радара, посылаемые с самолета или спутника, для картирования точной высоты льда. Информация об изменениях высоты льда с течением времени используется для определения количества льда в ледяном образовании, на основе нашего знания о плотности льда.
- **Изменения в гравитации.** В 2002 г. были запущены два спутника по программе GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment / Эксперимент по восстановлению гравитации и климата). Спутники движутся по одной орбите на расстоянии 200 км от земной поверхности и постоянно контролируют

дистанцию между собой. На скорость их перемещения оказывает воздействие гравитационное поле Земли, которое связано с распределением твердой массы (лед и горы) в точке на поверхности непосредственно под спутником. Изменения расстояния между спутниками используется для расчета действительной массы льда в различных точках с довольно низким пространственным разрешением с точностью до сотен километров. Изменения во времени используются для определения изменений массы льда.

Наряду с этими методами могут быть использованы для сравнения карты, фотографии, получаемые с самолетов, и изображения со спутников, чтобы показать, как изменяются со временем районы, покрытые ледяными шапками, и ледники. Фотоархив данных для районов Канадской Арктики существует для периода с 1950 г., а карты могут быть еще старше. Для Гренландии в фотоархиве ледяных полей представлены документы начиная с XIX века. Формы ландшафта, оставляемые после себя отступающими ледниками, также показывают, как изменялась протяженность этих ледников во времени.

## Потери льда горными ледниками Арктики, ледовыми куполами и Гренландским ледяным щитом



### Отступающие ледники

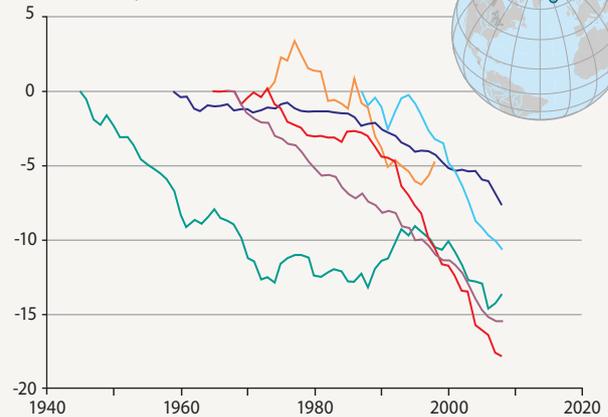
Проводится мониторинг изменений размеров сотен арктических горных ледников и ледовых куполов (на фотографии внизу показана камера, выполняющая покадровую съемку кромки приливного ледника Кронебрин, Шпицберген). Почти все они отступали на протяжении последних 100 лет, и скорость потери льда возросла за последнее десятилетие в большинстве районов. Общая масса льда горных ледников сократилась на рекордную величину, этот процесс начался около 60 лет назад. Более половины потерь льда пришлось на южные районы Аляски и Канадской Арктики, также сильно росла скорость потери массы ледниками Исландии. В Канадской Арктике с 2005 г. средние чистые потери льда возросли в три раза.

Если рассматривать все вместе, то общая потеря льда горными ледниками и ледовыми куполами в Арктике с 2000 г., вероятно, превосходит 150 Гт/год. Эта цифра близка к оценке количества льда, теряемого Гренландским ледяным щитом каждый год (~ 200 Гт/год), хотя ледяной щит почти в двенадцать раз больше.

На графике представлены горные ледники с самыми длинными непрерывными рядами измерений массы для каждого арктического региона. Эти оценки были рассчитаны на основе масс-балансового подхода (см. предыдущую страницу).

Все шесть ледников показывают чистую потерю льда во времени, и более быстрое уменьшение толщины после 1990 г. Периоды с рекордными потерями льда совпадают с увеличением периода летнего таяния и более высокими температурами воздуха.

Совокупный осредненный по площади баланс массы, кг/м<sup>2</sup>



© Monica Sund



© Lars Witting / ARC-PIC.COM

### *Чистая потеря льда Гренландским ледяным щитом происходит сейчас, согласно оценкам, в четыре раза быстрее, чем это было до 2000 г.*

Гренландский ледяной щит – самое большое скопление пресноводного льда в Северном полушарии. Потери льда происходят либо на поверхности, где лед тает под воздействием теплого воздуха и ветра, либо на краю ледника, где он откалывается в виде обломков сплошного льда или стекает в океан в виде талой воды. Скорость обоих видов потерь льда Гренландским ледяным щитом возросла.

Лед покидает Гренландский ледяной щит посредством нескольких быстро текущих ледников, которые достигают океана через фьорды вдоль побережья. Скорость потока этих ледников возросла – некоторые из них удвоили скорость за период 1995–2000 гг.. Предполагается, что переключателем для этих изменений стало потепление воды в океане, которая соприкасается с впадающим в море краем этих ледников.

Известный ледник, впадающий в Илуиссат айс фьорд (*Сермек Куйалек* по-гренландски) и уносящий около 7 % от всего количества льда ледяного щита, увеличил скорость потока вдвое, а его фронт отступил на 15 км за последние 8 лет.

Количество льда, покидающего Гренландский ледяной щит в виде айсбергов, согласно оценкам, выросло с 320 Гт в 1995 г. до 421 Гт в 2005 г. – скачок в 30 % за 10 лет.

Поверхностное таяние наблюдается вдоль края, выходящего к гренландскому побережью, и за последние 10 лет его скорость значительно возросла. Поверхность вдоль края опускается на величину до 1 м каждый год. Чтобы рассчитать чистую потерю льда Гренландским ледяным щитом, эти оценки потерь льда противопоставляются приросту льда, вызванному выпадением снега на поверхность ледяного щита. Высота Гренландского ледяного щита в его центре, измеренная со спутников, в последнее время немного увеличилась – возможно, отражая увеличение снегопадов. Это увеличение перевешивается возросшими потерями льда вследствие таяния и разрушения льда на меньших высотах и вдоль краев.

#### **Все последние измерения показывают, что Гренландский ледяной щит уменьшается в размерах**

Когда выполнялись первые расчеты баланса массы для Гренландского ледяного щита в 1960-х гг., он, как оказалось, находился в равновесии. Те первые измерения были очень неточными, но они показали, что добавляются и теряются каждый год одинаковые количества льда. Более поздние измерения говорят совсем о другом – о значительных ежегодных чистых потерях льда.

Таблица на стр. 21 показывает, как менялись оценки чистой потери массы Гренландским ледяным щитом за последние 20 лет. Чистая потеря льда возросла с 50 ( $\pm 50$ ) Гт/год в 1995–2000 гг. до 205 ( $\pm 50$ ) Гт/год в 2005–2006 гг. Это эквивалентно 205 000 000 000 000 литрам пресной воды, что достаточно для покрытия суммарного количества потребляемой пресной воды в Соединенных Штатах за 5 месяцев.

### **Что происходит, когда тает материковый лед?**

- пресная вода поступает в океан (см. раздел 5.1)
- растет уровень Мирового океана (см. раздел 5.2)
- изменяются морские пищевые цепи (см. раздел 4.1)
- появляются новые возможности для туризма и гидроэнергетики (см. разделы 4.2 и 4.3)
- обнажаются новые территории суши (см. раздел 4.2)



## 1.7 МОРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН РЕЗКО СОКРАТИЛСЯ

*Сокращение протяженности морского льда в Арктике в летний сезон ускорилось с 2000 г. и ледяной покров, в целом, сейчас становится более тонким.*

Морской лед Северного Ледовитого океана динамичен, его площадь увеличивается зимой и сокращается летом. Ледяной покров может быть в три раза более протяженным зимой, чем летом.

Площадь морского льда, остающегося в Северном Ледовитом океане в конце лета (в сентябре), сократилась за последние 30 лет. Это изменение ускорилось с 2000 г. – наблюдения показывают, что в последние десять лет сокращение стало происходить быстрее, чем в предыдущие двадцать лет.

В 2007 г. площадь морского льда в сентябре побила рекордный минимум<sup>3</sup> с начала проведения непрерывных спутниковых измерений в 1979 г. Фактически, она была на рекордно низком уровне или вблизи него каждый год с 2001 г. Средняя площадь морского льда в сентябре сейчас, примерно, на одну треть меньше, чем средняя протяженность летнего морского ледяного покрова в период с 1979 по 2000 гг. Она сокращалась быстрее, чем прогнозировали

глобальные климатические модели, оценки которых были использованы межправительственной группой экспертов по изменению климата.

Протяженность морского покрова зимой также сокращается, хотя и не так быстро, как в летний сезон. Протяженность морского льда в марте уменьшилась примерно на 10 % за последние 32 года.

Морской лед начал таять весной раньше. Получены оценки, что таяние начиналось в среднем на 13 дней раньше в 2000-х гг., чем это было в 1980-х. В целом, во всей Арктике продолжительность сезона таяния морского льда увеличилась, примерно, на 20 дней с 1980-х гг.

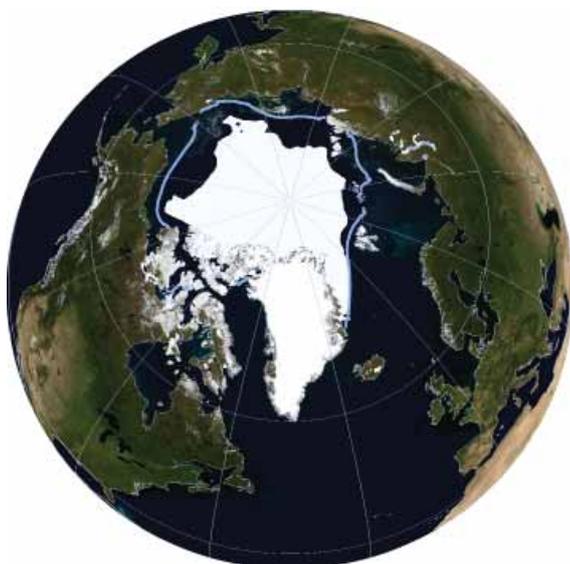
*Протяженность морского льда в Арктике постоянно отслеживается со спутников с 1979 г.*



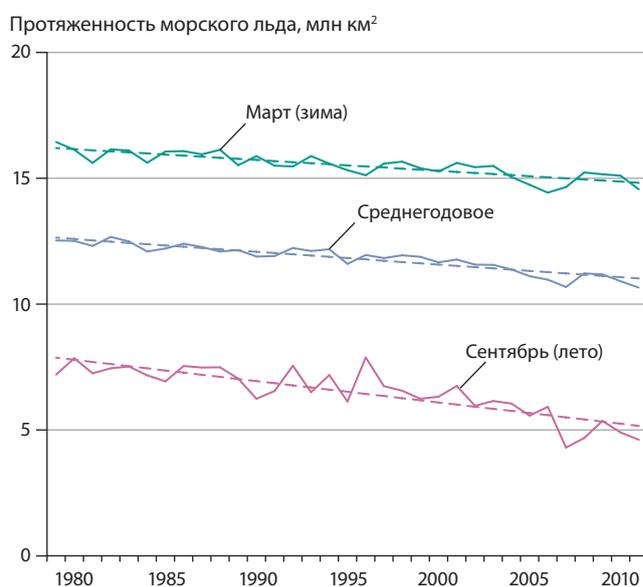
© Paul Souders / Corbis

*В сентябре 2007 г. протяженность морского льда в Северном Ледовитом океане побила рекордный минимум.*

**Среднемесячное значение протяженности морского льда в сентябре 2011 г. (белый цвет) и усредненное положение границы льда в сентябре для периода 1979–2000 гг. (голубая линия)**



**Среднее значение протяженности морского льда в марте (конец зимы), в сентябре (конец лета), и среднегодовое для периода 1979–2010 гг.**



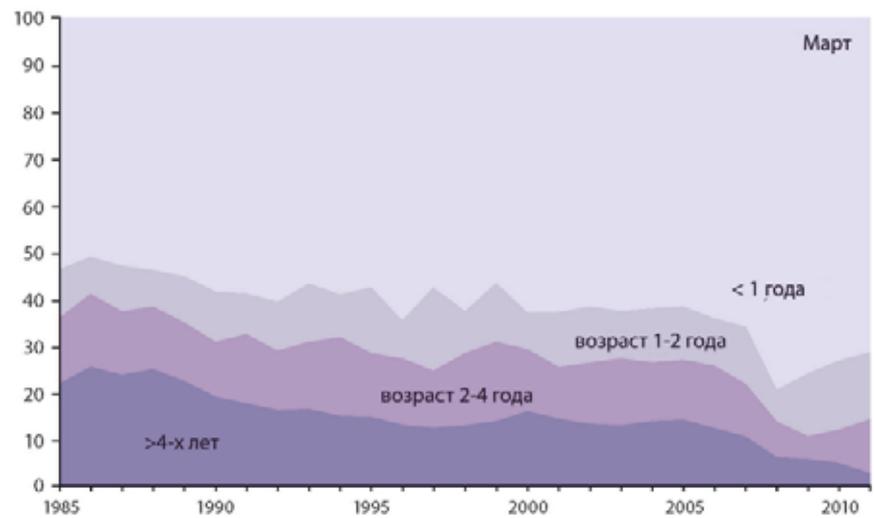
### Изменение возраста морского льда

Одно из наиболее фундаментальных изменений морского льда Северного Ледовитого океана за последние десять лет – это уменьшение количества многолетнего льда. Лед, который переживает, по крайней мере, один сезон таяния, называется многолетним льдом, он становится толще с каждым годом, так как под ним образуется новый лед. Напротив, однолетний лед, который нарастает в течение зимы и затем полностью тает летом, относительно тонкий и, поэтому, более подвержен воздействиям со стороны ветров и температуры воздуха.

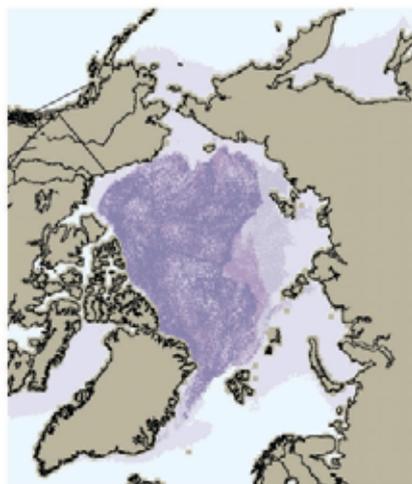
В конце летнего сезона таяния 2008 г. многолетнего морского льда было на 42 % меньше, чем в 2005 г. Объем многолетнего льда зимой сократился между 2005 и 2008 гг., тогда как однолетний лед прибавил в объеме, почти скомпенсировав потерю многолетнего льда. Однолетний лед покрывал более двух третей поверхности Северного Ледовитого океана в 2007 г.

Эти тенденции формируют условия для дальнейшего быстрого сокращения морского льда летом в будущем (см. раздел 3.5).

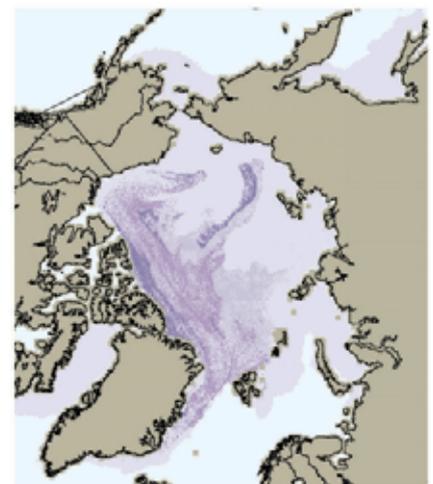
Общее количество льда, %



Март 1985

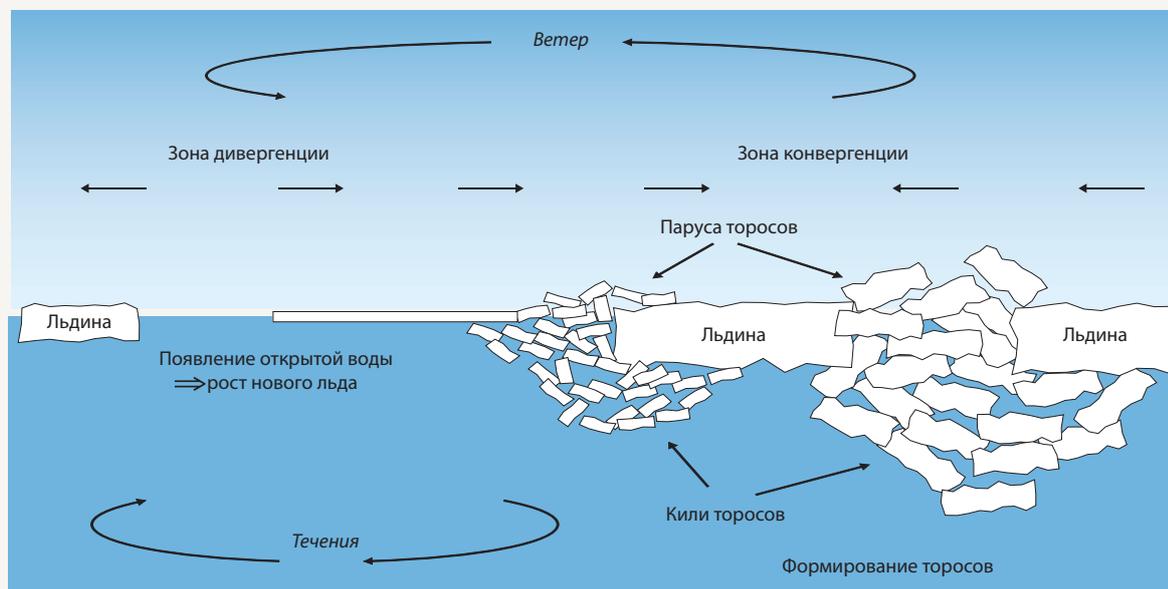


Март 2011



### Толщина морского льда

Морской лед неоднороден, его толщина сильно варьируется. Толщина льда зависит от широкого диапазона факторов, включая ветер, океанические течения и температуру морской воды и воздуха. Морской лед покрыт снегом осенью, зимой и весной. Летом на его поверхности появляется вода и проталины, которые могут замерзать ночью.





### Морской лед в Северном Ледовитом океане становится тоньше

Новые методы, разработанные в последние десять лет, дали возможность измерять протяженность, возраст и толщину морского льда с большей точностью, чем когда-либо ранее.

Измерения со спутников показывают, что арктический морской лед быстро теряет толщину. Средняя толщина льда в зимний сезон изменилась с 3,64 м в 1980 г. до 1,89 м для последней зимы измерений в 2008 г. Это сокращение на 1,75 м – почти в два раза. Между 2003 и 2008 гг. ледяной покров становился тоньше, в среднем, на 0,2 м ежегодно.

Самые значительные изменения произошли в районах с многолетним льдом, который становился тоньше, в среднем, на 0,6 м каждый год. Однолетний лед, толщина которого составляет около 2 м в середине зимы, не показал тенденции к уменьшению толщины.

### Почему сокращается морской лед?

Много факторов оказывают влияние на сокращение морского ледяного покрова, включая следующие:

- Открытая вода поглощает солнечное тепло быстрее, чем морской лед, увеличивая температуру поверхности океана. Это задерживает начало образования льда осенью и зимой, и вносит вклад в потери льда летом.
- Более теплые океанические течения, входящие в Северный Ледовитый океан из Тихого, вызывают таяние морского льда снизу. Последние исследования показали, что этот процесс может играть более значительную роль в сокращении ледяного покрова, чем это считалось ранее.
- Возросший вынос льда из Северного Ледовитого океана. Это определяется ветровым режимом и океаническими течениями, связанными с недавно описанной арктической дипольной аномалией (см. стр. 32).



### Что происходит, когда сокращается морской лед?

- Большее количество тепла поглощается районами океана, где нет морского льда, что приводит к нагреванию воды (см. раздел 2.2)
- Больше морской воды может испаряться в атмосферу, что потенциально может изменить локальные режимы выпадения снега (см. раздел 1.3)
- Изменяются условия в океане и меняется продуктивность морских экосистем (см. раздел 4.1)
- Животные, чьи места жизнедеятельности зависят ото льда или кромки льда, теряют среду обитания (см. раздел 4.1)
- Судоходные пути через Северный Ледовитый океан, такие, как Северный морской путь, будут открыты на более долгие периоды ежегодно (см. раздел 5.3)



## ЧАСТЬ 2:

# ПОЧЕМУ КРИОСФЕРА АРКТИКИ МЕНЯЕТСЯ

*Глобальное изменение климата — это основная движущая сила изменения криосферы Арктики. Температура растет во всем мире, в основном, как реакция на накопление в атмосфере парниковых газов, таких как двуокись углерода. С 1980 г. Арктика нагревается вдвое больше, чем остальная часть планеты, поэтому не удивительно, что арктические массы льда тают. Криосферные объекты взаимодействуют с другими компонентами климатической системы, что еще более способствует потеплению. На всей планете именно Арктика будет испытывать наибольший рост температуры в будущем, так что изменения, наблюдаемые сегодня, продолжатся или ускорятся.*



© www.neem.ku.dk

### Арктический климат меняется

- Более высокие приземные температуры воздуха, не наблюдавшиеся ранее режимы циркуляции атмосферы, а также морские течения приводят к изменениям в криосфере Арктики.
- Последние шесть лет (2005–2010 гг.) в Арктике были самыми теплыми за всю историю.
- Недавние реконструкции, основанные на данных озерных отложений, годовых колец деревьев и ледяных кернов показывают, что летние температуры в Арктике были выше в последние несколько десятилетий, чем в любое время за последние 2000 лет.
- С 1950 года место небольшое увеличение осадков в виде дождя и снега в наземной Арктике. В последнее десятилетие зафиксированы пять наиболее влажных лет.
- Обнаружен не наблюдавшийся ранее приток теплых вод в Северный Ледовитый океан из Тихого и Атлантического океанов. С этим фактором связана быстрая потеря морского льда.
- Недавние изменения не могут быть отнесены исключительно к роли известных типов климатической изменчивости, таких как Тихоокеанское десятилетнее колебание (см. стр. 33). Не наблюдавшиеся ранее режимы циркуляции атмосферы с 2006 г. отмечаются не одной группой ученых.

### Криосфера взаимодействует с другими компонентами климатической системы

- В настоящее время очевидно, что две составляющих криосферы Арктики – снег и морской лед – взаимодействуют с другими частями климатической системы, тем самым ускоряя потепление.
- Наибольшее повышение температуры нижних слоев атмосферы происходит в осенний период, в регионах, где морской лед исчезает в конце лета. Отсутствие морского льда вызывает дальнейшее потепление воздуха, потому что толща морской воды поглощает больше тепла летом.
- Количество дней со снежным покровом изменилось, особенно весной. Это эффект обратной связи: поверхность поглощает больше энергии, она больше нагревается, что способствует усилению таяния снега.

## 2.1 АРКТИЧЕСКИЙ КЛИМАТ МЕНЯЕТСЯ

*Температуры, зафиксированные в Арктике с 2005 г. выше, чем в любой другой отрезок времени за период инструментальных наблюдений. Осадки в виде дождя и снега возросли, были обнаружены не известные ранее морские течения и режимы циркуляции атмосферы. Эти изменения являются движущей силой всех физических изменений в криосфере.*

Температуры, зафиксированные в Арктике с 2005 г. выше, чем в любой другой отрезок времени за период инструментальных наблюдений. Осадки в виде дождя и снега возросли, были обнаружены не известные ранее морские течения и режимы циркуляции атмосферы. Эти изменения являются движущей силой всех физических изменений в криосфере.

Климат является обобщенной картиной погоды, имевшей место в течение длительного периода, обычно за 30 лет. Температура, осадки и ветер, в целом, предсказуемы в этих временных масштабах. Если главные параметры отклоняются от ожиданий, основанных на наблюдениях в течение десятилетий или столетий, то это и есть изменения климата.

Непрерывные инструментальные наблюдения температур воздуха в Арктике начались около 1880 г. В большинстве мест температуры, измеренные с 2005 г., были выше, чем в любое время за период наблюдений. Среднегодовые температуры, осредненные по всей Арктике, колебались около 1,5 °C, и были выше, чем за 1961–1990 гг. Эти температуры даже превышают те, что фиксировались в период потепления Арктики в 1930-х и 1940-х годах.

Увеличение средней температуры с 1980 года было в 2 раза выше в Арктике, чем в остальной части планеты.

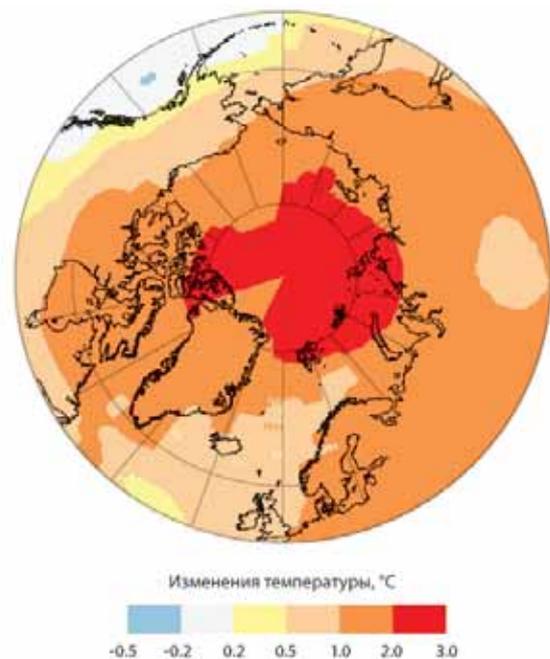
Объясняя причину потепления в Арктике, доклад СВИПА ссылается на выводы Четвертого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). В нем говорится, что “Большая часть наблюдаемого роста среднемировых температур с середины XX века, весьма вероятно [ $> 90\%$  вероятность] происходит из-за наблюдаемого роста концентрации антропогенных выбросов ПГ (парниковых газов)”.

Изменения температуры не распределены равномерно во времени и пространстве. Над Северным Ледовитым океаном наибольшее потепление наблюдается осенью и в начале зимы (см. раздел 2.2), где температура за последние десять лет была выше на 4 °C, чем в среднем за 1951–2000 гг. Это потепление сильнее, чем таковое в любое время года в любом другом месте на Земле.

### **Многолетний тренд похолодания изменился на противоположный**

Прямые измерения температур в Арктике относятся к 1880 г., но летние температуры 2000 лет назад можно оценить по биологическим останкам, найденным в озерных отложениях, по концентрации газа в воздухе, сохраненном в ледяных кернах, и по годичным кольцам стволов деревьев. Анализ этих измерений по всей Арктике (см. рис. на следующей стр. внизу) показывает, что тенденция медленного летнего похолодания, наблюдавшаяся примерно до 1800 г., получила кардинально обратный ход.

**Недавнее изменение температуры поверхности Земли (2005–2009 гг.) по отношению к среднему многолетнему (1951–2000 гг.).**



### **Взгляд далеко назад**

Изменения такого масштаба не являются беспрецедентными в Арктике. В истории Земли были теплые периоды, когда лед отсутствовал на обоих полюсах, и холодные периоды с мощным ледяным покровом на большей части планеты. Анализ воздуха, находящегося в ледяных кернах из глубоких слоев ледников, говорит ученым, что условия в Арктике значительно варьировались на протяжении последних 125 тыс. лет.

В течение крайне холодного времени с 25 тыс. до 14 тыс. лет назад, во время последнего ледникового периода, температура в Гренландии, как полагают, была на 25 °C ниже, чем сегодня. Уровень моря тогда был соответственно на 120 м ниже современного. Во время ледникового периода температура очень быстрые потепления, когда средняя температура возрастала на 10–15 °C в течение нескольких десятилетий. Эти относительно внезапные колебания свидетельствуют о способности арктической криосферы изменяться очень быстро. В свете геологической истории потепление последнего времени на 1,5 °C кажется небольшим. Тем не менее, оно представляет собой существенное изменение относительно последних 12 тыс. лет (период человеческой цивилизации), которые были периодом необычной температурной стабильности в Арктике.

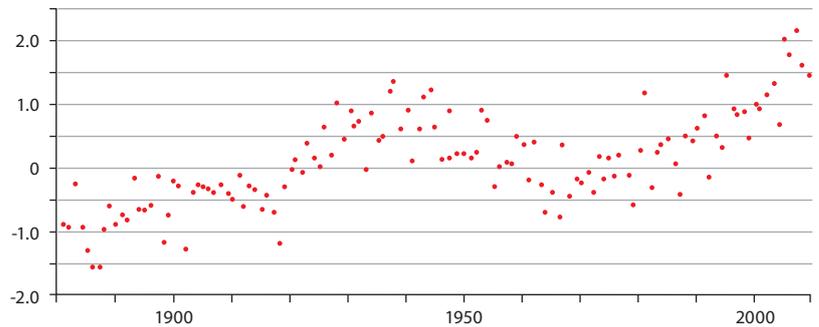


© Pirkko Siikamäki / INTERACT

*Температура воздуха, измеряемая в Арктике с 2005 г., были выше, чем в любой пятилетний период в последние 130 лет.*

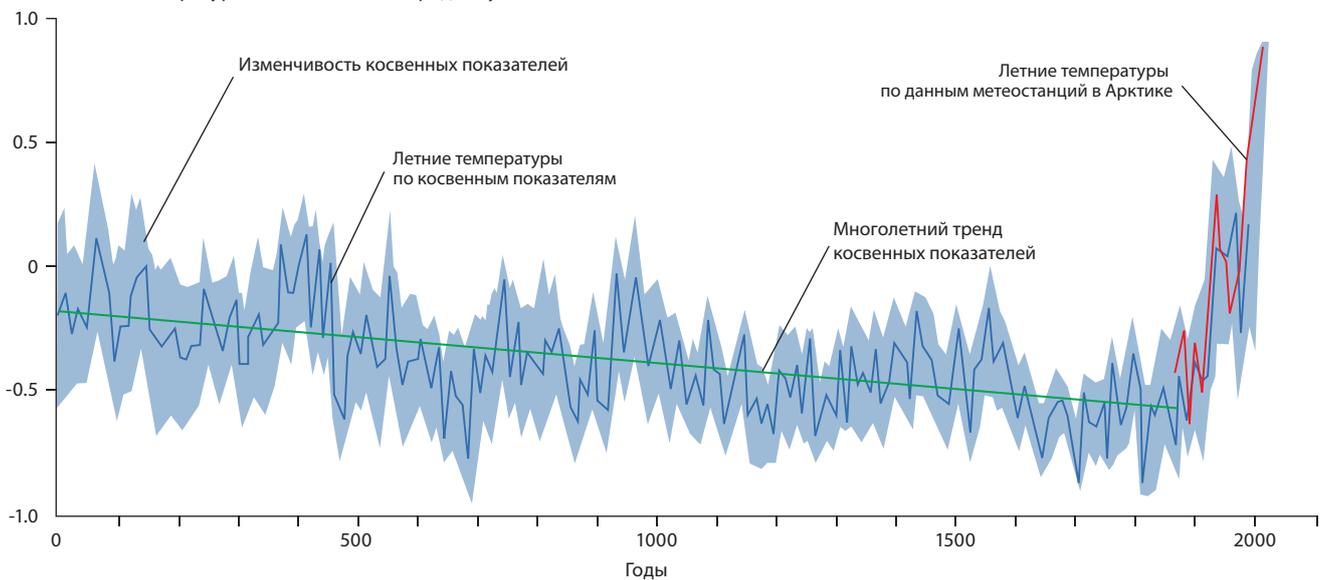
#### Температура воздуха по наземным метеостанциям в Арктике

Изменение температуры по отношению к среднему за 1961–1990 гг., °C



#### Многолетнее изменение летних температур воздуха в Арктике по озерным отложениям, кернам льда и древесным кольцам (косвенные показатели)

Изменение температуры по отношению к среднему за 1961–1990 гг., °C



### Рост осадков в виде дождя и снега

С 1950 г. в наземной Арктике имело место небольшое увеличение осадков в виде дождя и снега, но данные по осадкам далеко не полные. Это увеличение трудно распознать из-за большой изменчивости год от года.

Часть выпадающих на земную поверхность жидких и твердых осадков попадает в реки. Общий объем воды в шести крупнейших реках Евразийской Арктики увеличился примерно на 10% с 1935 года. Объем стока пяти крупнейших арктических рек Северной Америки также возрос, но эта оценка сделана только с 1970 г.

Пять наиболее влажных лет (с точки зрения дождей, снегопадов и речного стока) зафиксированы в последнее десятилетие.

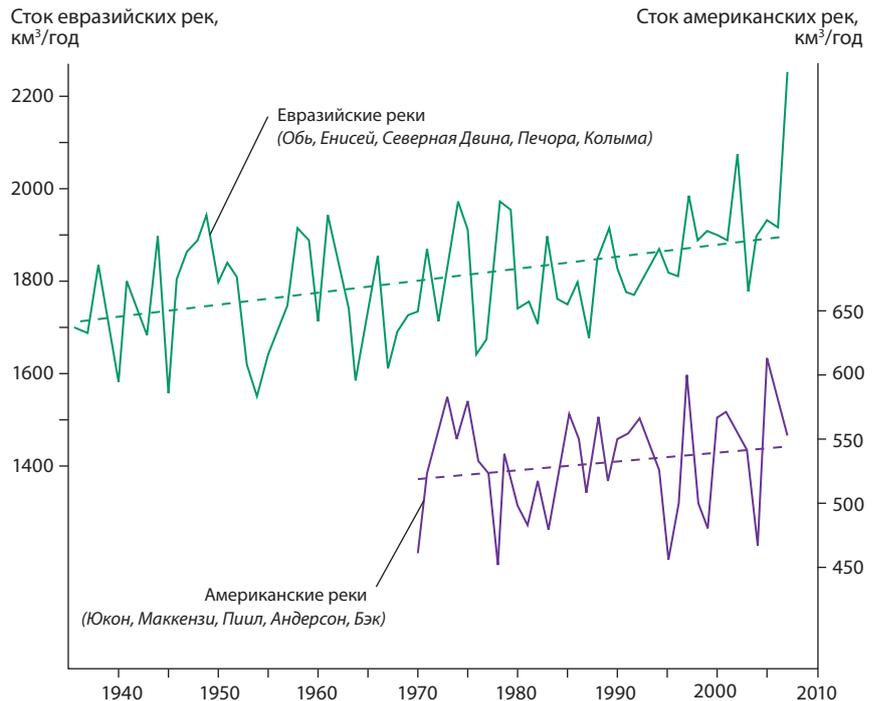
### Штормы

Штормовая активность увеличилась в некоторых местах, например, на северном побережье Аляски, но анализа штормов по всей Арктике пока нет.

### Климатические ситуации и океанические течения

Погода в Арктике сильно зависит от двух форм климатических режимов, определяемых разными наборами условий. Режим, вызываемый разностью давления воздуха, которая называется Арктическим колебанием, а режим, связанный с разностью температуры поверхности моря, называется Тихоокеанским десятилетним колебанием, (см. врезку на этой странице). Ни одна из этих движущих сил не может объяснить наблюдаемое потепление арктических воздушных масс или морских вод за последние годы. Не наблюдавшиеся ранее режимы циркуляции атмосферы с 2006 г. отмечаются многими группами ученых.

### Колебания стока рек в Северный Ледовитый океан



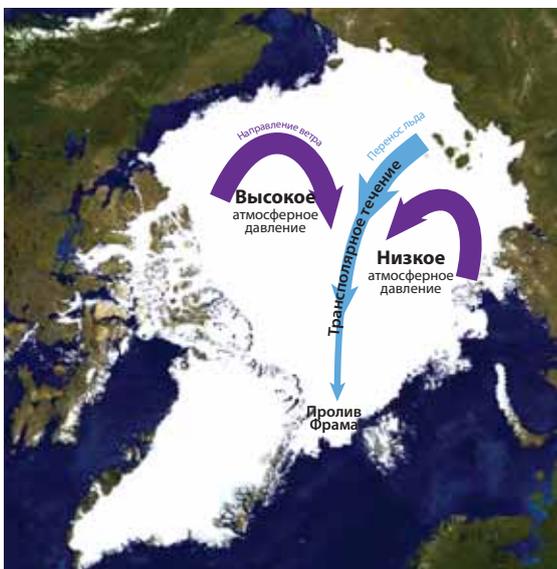
Некоторые называют это “режимом быстрых арктических изменений”, другие – “дипольной аномалией”. Феномен характеризуется низким давлением воздуха в зимние месяцы у северного побережья России и высоким давлением на противоположной стороне Северного Ледовитого океана – в Гренландии и на севере Канады. Эти условия создают ветры, которые дуют из Гренландии через Северный полюс к России, ослабляя океаническую циркуляцию в круговороте моря Бофорта.

Круговорот моря Бофорта является медленной циркуляцией холодной, относительно пресной воды и морского льда, отчасти вызванной ветрами. Она удерживает морской лед на месте в течение нескольких лет.

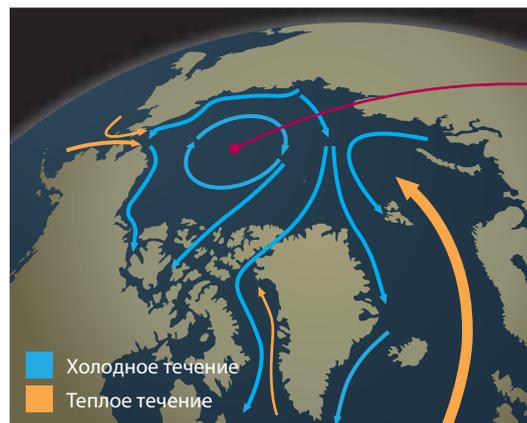
Из-за ослабления круговорота моря Бофорта многолетний морской лед имеет тенденцию выноситься через пролив Фрама в Северную Атлантику, где он тает.

Быстрый экспорт морского льда из Северного Ледовитого океана в Атлантику наблюдается в последние годы.

В то же время, были обнаружены необычно теплые течения, входящие в Северный Ледовитый океан из Тихого и Атлантического океанов. Хотя воды этих течений теплее, они погружаются вниз под более холодную арктическую воду, так как они тяжелее из-за большей солености. Неизвестно, как эти воды влияют на циркуляцию Северного Ледовитого океана и морского льда.



Порции теплой воды из Тихого океана в Северный Ледовитый могут способствовать быстрому сокращению морского льда в летний период.



Круговорот моря Бофорта – циркуляция холодной, сравнительно пресной воды, которая удерживает морской лед.

# КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА АРКТИКУ

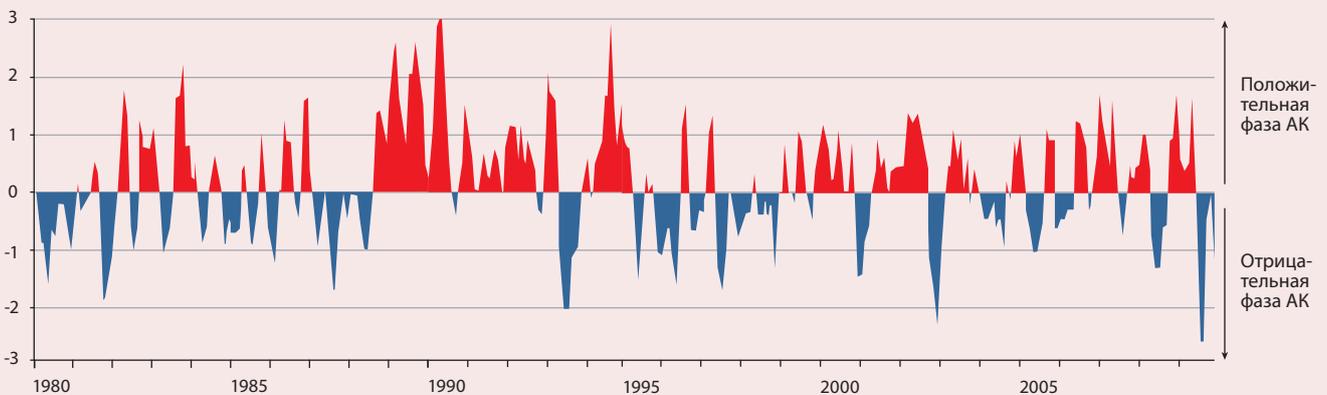
## Арктическое колебание

Арктическое колебание характеризуется различием в давлении воздуха в высокоширотной Арктике и в низких широтах Северного полушария. В положительной фазе, низкое давление над высокоширотной Арктикой втягивает на север теплый и влажный воздух из более низких широт. Такой режим преобладал в 1980-х и начале 1990-х гг., и, возможно, он частично объясняет повышение температуры над Арктикой в эти периоды. Потепление было сильнее в Евразийской Арктике, в соответствии с ветрами, связанными с положительной фазой Арктического колебания.

С 1997 г. Арктическое колебание часто переключалось с положительной на отрицательную фазу и обратно.

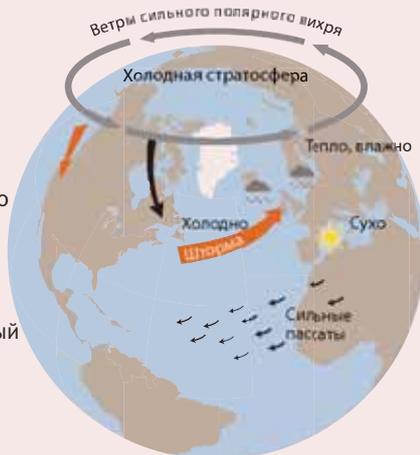
При отрицательной фазе на крайнем севере наблюдается высокое давление, которое делает Арктику холодной и сухой и выталкивает холодный воздух на юг Северной Америки и Евразии. Несмотря на частые повторения этого режима, средняя температура в Арктике продолжает расти. В декабре 2009 г. и январе 2010 г. и снова в декабре 2010 г. и январе 2011 г. Арктическое колебание было в глубоко отрицательной фазе, т.е. на севере Арктики царило высокое давление. Центральная Европа была охвачена холодами, но в высокоширотной Арктике было относительно тепло. Таким образом, более высокие температуры в Арктике, наблюдаемые с 2005 г., не могут быть объяснены арктической осцилляцией.

Индекс Арктического колебания (АК), сглаженный трехмесячным скользящим средним



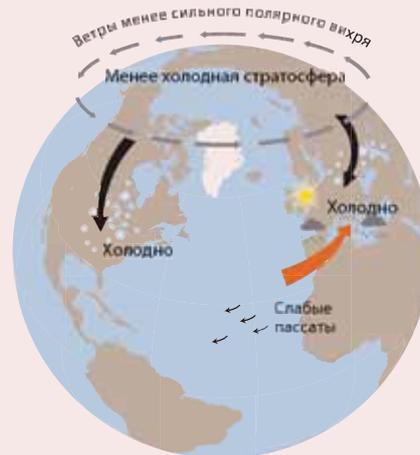
### Положительная фаза АК

Область повышенного давления воздушных масс над Северной Америкой, Европой и Азией задерживает чрезвычайно холодный воздух над Арктикой.



### Отрицательная фаза АК

Атмосферное давление понижено, что позволяет холодному воздуху перемещаться на юг, и тепловому воздуху двигаться на север.



## Тихоокеанское десятилетнее колебание

Тихоокеанское десятилетнее колебание характеризуется различиями в температуре поверхности Тихого океана. Они могут существовать в течение десятилетия или дольше, что оказывает сильное влияние на зимние температуры на северо-западе Северной Америки. С середины 1970-х до самого последнего десятилетия более теплая северо-восточная часть Тихого океана была связана с повышением температуры над Аляской и северо-западом Канады. Тот же режим был связан с понижением температуры в Восточной Сибири. Преобладающая тенденция повышения температуры в Арктике, особенно над Северным Ледовитым океаном, не может быть объяснена с точки зрения Тихоокеанского десятилетнего колебания.

## Недавние необъяснимые изменения

На климат Арктики влияют некоторые крупномасштабные погодные ситуации и типы океанической циркуляции, которые относительно хорошо изучены, но не могут объяснить недавний рост температуры. С 2006 г. были отмечены новые повторяющиеся погодные типы и новые океанические течения в пределах арктического региона, что, скорее всего, связано с быстрым таянием морского льда. Они могут иметь далеко идущие последствия.



## 2.2 КРИОСФЕРА ВЗАИМОДЕЙСТВУЕТ С ДРУГИМИ КОМПОНЕНТАМИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*Лед и снег настолько сильно воздействуют на окружающую среду Арктики, что это влияет на другие параметры климатической системы, например, на температуру. Изменения в количестве снега и льда может вызвать охлаждение или нагревание посредством различных механизмов. Эти взаимодействия между криосферой и другими частями климатической системы называются обратными связями. Они наименее изучены в криосферной системе.*

Обратная связь – это когда изменение в одной части системы приводит в действие изменения в другой, которые затем воздействуют на первую часть системы. В этом случае, климатическая система приводит к изменению в криосфере, и в ответ криосфера в свою очередь изменяет этот аспект климатической системы. Положительная обратная связь ведет к дальнейшему увеличению изменения. Отрицательная обратная связь тормозит развитие изменения.

Пример положительной обратной связи: уменьшается снежный покров, поверхность Земли становится темнее и поглощает больше тепла. Это усиливает потепление, которое способствует дальнейшему таянию снега.

Пример отрицательной обратной связи – уменьшенный снежный покров, как результат потепления, увеличивает вегетационный период растений. Более интенсивный рост растений означает большее поглощение углекислого газа, что охлаждает планету, посредством изъятия парникового газа из атмосферы.

Есть более 30 известных механизмов обратной связи, действующих в Арктике. Из тех, которые могут дать наиболее сильный эффект, имеется семь положительных, приводящих к дальнейшему потеплению, и только один отрицательный, который способствует охлаждению среды.

Обратные связи являются предметом беспокойства, поскольку их последствия трудно предсказать. Они обладают потенциалом изменить скорость или даже направление колебаний климата и связанных с этим изменений в криосфере. Интенсивность различных обратных связей в климатической системе еще не до конца определена, как в Арктике, так и в глобальном масштабе.

Пока не ясно, когда они произойдут и каков будет суммарный эффект. В настоящее время есть представление, что два компонента арктической криосферы – снег и морской лед – будут усиливать тенденции потепления в климатической системе.

### ОБЪЯСНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

#### Положительная обратная связь

*Потепление приводит к изменению, которое вызывает дальнейшее потепление, тоже и с похолоданием, оно вызывает изменение, которое вызывает дальнейшее похолодание. Положительные обратные связи ускоряют или усиливают изменения.*

#### Отрицательная обратная связь

*Потепление приводит к изменению, которое способствует похолоданию, или похолодание ведет к изменению, которое приводит к потеплению. Отрицательные обратные связи замедляют или блокируют изменения.*



© Tyler Olson / Shutterstock.com

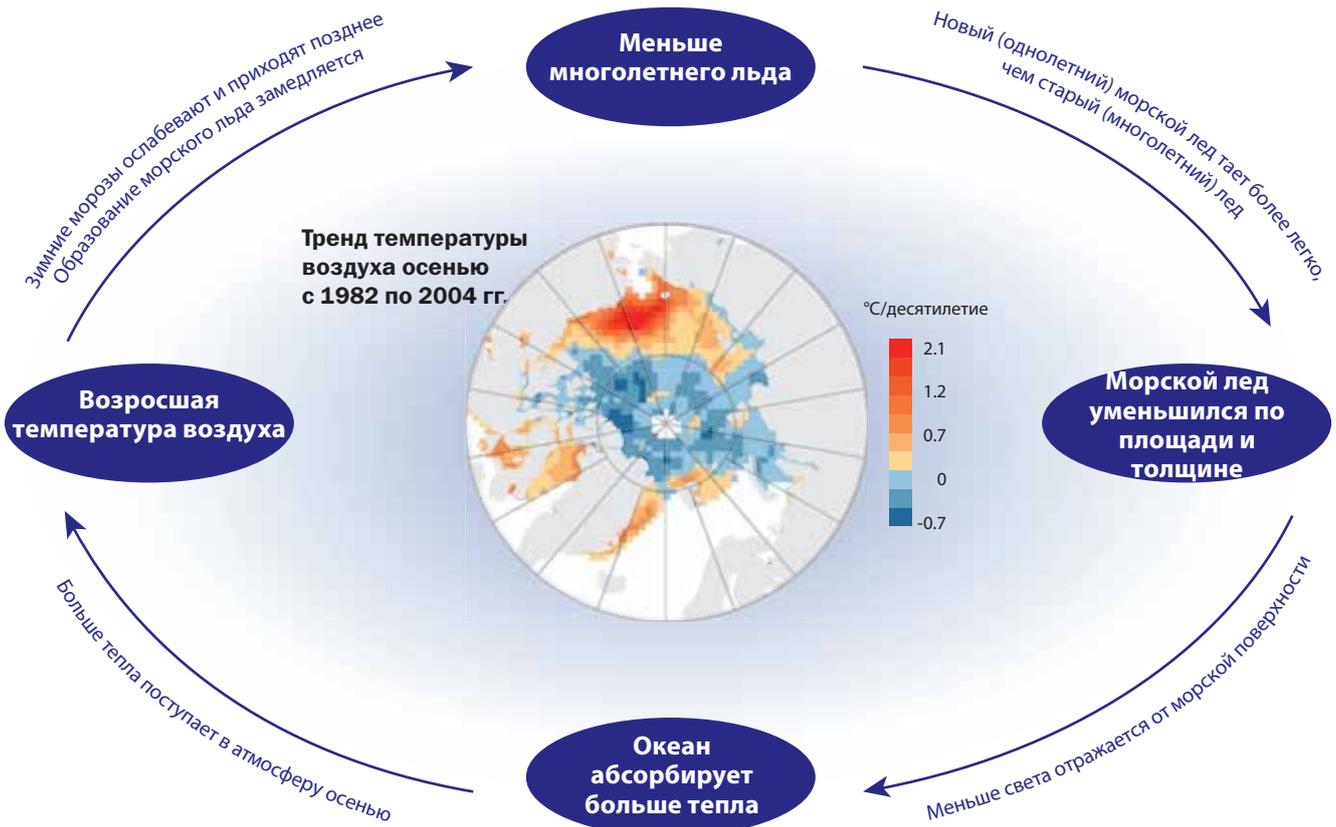
### Снег тает быстрее весной

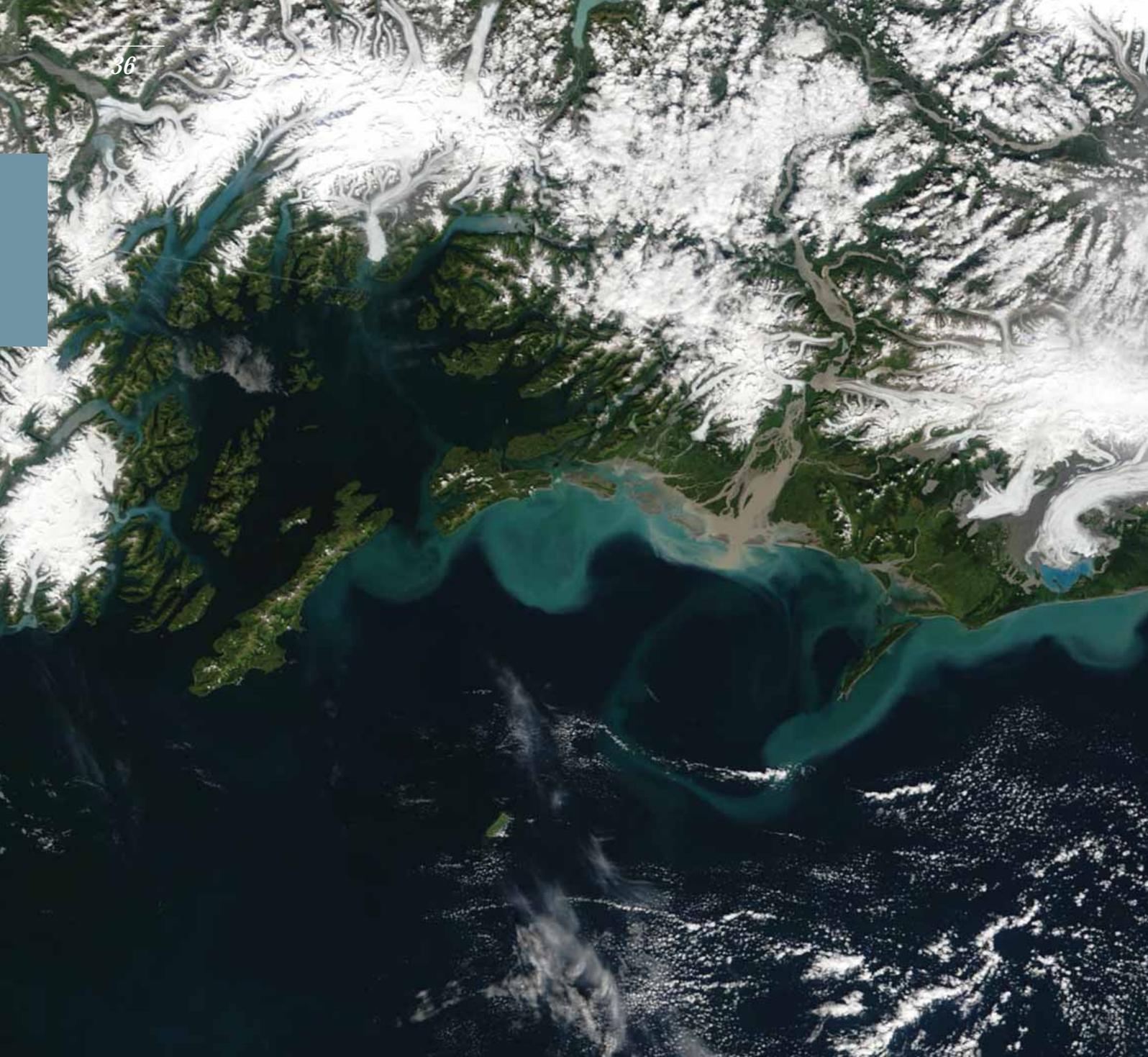
Снижение времени существования снежного покрова значительно более распространено весной, чем осенью. Этого ожидаемо, поскольку Арктика становится теплее именно в это время. Когда происходит потепление, уменьшение распространения снежного покрова ускоряет потепление, потому что поверхность становится темнее. Это означает, что снежный покров сокращается еще быстрее. Осенью, когда в Арктике становится холоднее и темнее, влияние изменений в снежном покрове на температуру меньше.

### Температура воздуха связана с таянием морского льда

Наибольший рост температуры произошел в регионах, где морской лед исчезает в конце лета. Из этого следует, что сокращение морского льда само влияет на температуру воздуха. Поверхность моря поглощает больше солнечной энергии, когда она не покрыта льдом. Более теплое море больше прогревает воздух, особенно в конце лета, и в свою очередь тормозит рост образования льда в последующую зиму. Этот эффект положительной обратной связи может привести к полному таянию морского льда в Арктике в летний период, что, вероятно, может произойти уже в ближайшие несколько десятилетий, если, как ожидается, потепление продолжится.

*Прямые наблюдения положительной обратной связи, имеющей место между таянием морского льда и повышением температур воздуха над Северным Ледовитым океаном, является важным научным достижением.*





### ЧАСТЬ 3:

## ИЗМЕНЕНИЯ БУДУТ НАРАСТАТЬ

*Криосфера Арктики изменяется. Крупные ледовые образования тают быстрее, чем это было до 2000 г., и есть факты, показывающие, что взаимодействие льда и снега с климатической системой ускоряет изменение. Модели глобального климата прогнозируют, что в Арктике температура будет продолжать повышаться быстрее, чем где-либо в мире. Ожидается, что все наблюдаемые изменения в криосфере Арктики будут продолжать происходить на протяжении XXI века, и даже могут ускориться.*



© Jeff Schmaltz, MODIS Rapid Response Team, NASA/GSFC

- Прогнозы снежных и ледовых условий в Арктике носят неопределенный характер. Отчасти потому, что взаимодействия между снегом, льдом и атмосферой не полностью изучены и, соответственно, не представлены должным образом в различных климатических моделях. Также носит неопределенный характер описание эмиссии в атмосферу парниковых газов в будущем.
- В Арктике будет происходить самое значительное повышение температуры на планете. Средняя температура осенне-зимнего сезона в Арктике, согласно прогнозам, вырастет на величину от 3 до 6 °C к 2080 г.
- Осадки в виде дождя и снега в Арктике, согласно прогнозам, увеличатся во все сезоны, но больше всего зимой.
- Максимальная высота снежного покрова, по прогнозам, вырастет к 2050 г. во многих районах, но снег будет лежать на земле с каждым годом все меньше времени из-за более раннего таяния весной.
- Северный Ледовитый океан, согласно прогнозам, станет почти полностью свободен ото льда в летний период в этом веке, вероятно, в течение ближайших 30–40 лет.
- Модели предсказывают, что вечная мерзлота будет продолжать таять.
- Суммарный объем ледников Арктики, согласно прогнозам, сократится на 13–36 % к 2100 г.

## ГДЕ В АРКТИКЕ?

*На этой странице представлено несколько **ИЗБРАННЫХ ПРИМЕРОВ** прогнозируемых изменений климата и районов, где, как ожидается, эти изменения окажут воздействие на некоторые регионы.*

- 1 Самое значительное сокращение снежного покрова прогнозируется для **Аляски** и **северной Скандинавии**, где продолжительность периода со снежным покровом, согласно прогнозам, к 2050 г. станет на 30–40 % короче, чем сегодня.
- 2 Самый большой рост максимального накопления снега для следующих 50 лет ожидается в **Сибири** (увеличение на 15–30 %).
- 3 В России рост температуры почвы на 0,6–1 °С, согласно прогнозам, будет отмечен к 2020 г.
- 4 Региональные модели **озер для пояса широт 40–75° с.ш.** показывают, что в период 2040–2079 гг. озера будут покрыты льдом на 15–50 дней в году меньше.





- 5** Прогнозируемые изменения температуры вдоль четырех самых крупных рек Арктики – **Макензи в Канаде и Енисея, Лены и Оби в России** – позволяют предположить, что продолжительность периода заморзания этих рек будет постепенно сокращаться с настоящего времени и до 2100 г.
- 6** Горные ледники в **северо-восточной части Сибири**, согласно прогнозам, потеряют 78 % своей площади к 2070 г.
- 7** Самый значительный рост осадков в виде снега и дождя ожидается на северо-востоке **Гренландии**, а также на побережье **Сибири** и в **Канадском Арктическом архипелаге**.



© Arctic Images / ArcticPhoto

## 3.1 МОДЕЛИРОВАНИЕ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ

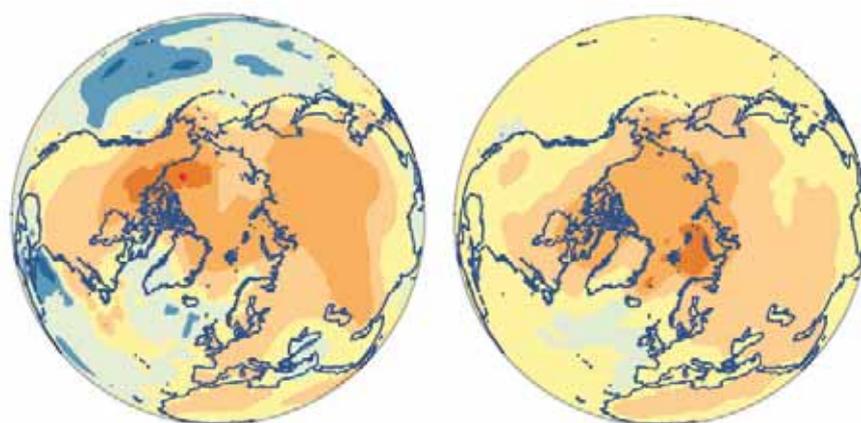
*Все составляющие компоненты криосферы Арктики испытывают изменения, так что же несет в себе будущее? Прогнозы по многим численным моделям дают представление, как может изменяться криосфера, и где эти изменения могут произойти. Эти модели предсказывают рост температуры во всей Арктике, почти полное отсутствие морского льда в Северном Ледовитом океане летом к 2050 г. и повсеместное увеличение осадков в виде дождя и снега.*

Знание о будущем изменении в Арктике основывается на результатах расчетов по 24 различным численным моделям глобального климата. Они моделируют динамический режим атмосферы и океанов.

Климатические модели, результаты расчетов которых использованы в данном отчете, основываются на оптимистичных сценариях, где эмиссии парниковых газов в будущем ниже, чем они были последние 10 лет (см. верхнюю врезку на следующей странице).

**Фактическое изменение температуры за 50-летний период (1957–2006 гг.)**

**Модельное изменение температуры за 50-летний период (1957–2006 гг.), рассчитанное по ансамблю климатических моделей МГЭИК.**



Среднее изменение температуры, °C

-1.0 -0.5 0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0

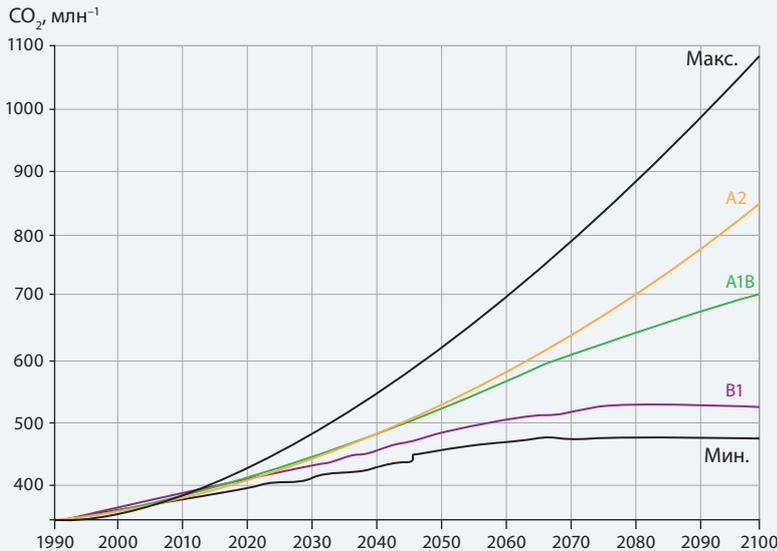
## Сценарии эмиссии

Межправительственная группа экспертов по изменению климата разработала 40 различных сценариев эмиссий. Каждый из них предполагает свой вариант эмиссии парниковых газов в будущем и изменения в землепользовании. Сценарии также описывают различные будущие варианты технологического развития, экономического роста и уровней международного сотрудничества.

Все климатические модели в этом отчете используют относительно оптимистические сценарии, где эмиссии парниковых газов в будущем задаются ниже, чем они были последние 10 лет.

Как результат, эти модели, скорее, занижают скорость и величину изменения криосферы, чем переоценивают его.

Применяемые сценарии эмиссий дают относительно одинаковые прогнозы для середины столетия. После 2050 г. их результаты начинают расходиться, давая более широкий диапазон возможных будущих изменений. Это значит, что результаты международных усилий по контролю за выбросами принесут более значительные результаты в Арктике и во всем остальном мире к концу столетия.



Сценарий **A2** описывает очень неоднородный мир с высоким приростом населения, медленным развитием экономики и медленными технологическими изменениями.

Сценарий **A1B** описывает мир с очень быстрым экономическим ростом, с пиком численности населения в середине столетия и быстрым внедрением новых и более эффективных технологий. Есть баланс между ископаемыми видами топлива и другими видами энергетических ресурсов.

Сценарий **B1** описывает мир с таким же населением Земли, как и в сценарии A1, но с более быстрыми изменениями экономических структур в направлении сервисной и информационной экономики.

## Неопределенности

Климатологи учитывают неопределенности, оперируя диапазонами возможных изменений. Чем шире диапазон вариантов, тем более неопределен результат. Основные источники неопределенности в прогнозировании изменений криосферы Арктики следующие:

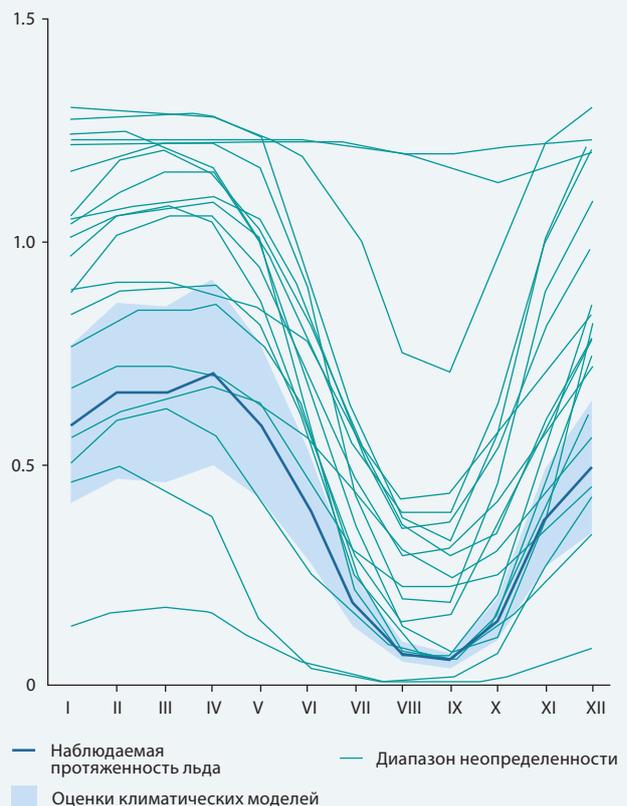
*Неполное понимание системы климат-криосфера.* Каждая модель основывается на предположениях о том, как работает система криосферы и климата. Но сложные взаимодействия снега и льда, океана и атмосферы еще пока полностью не поняты. Без понимания того, какой набор предположений наиболее правильный, самое лучшее – использовать несколько моделей и представить диапазон возможных результатов в будущем.

*Различные способы представления реального мира.* Климатические модели по-разному описывают особенности криосферы, такие как протяженность льда (см. график), снежный покров или водные потоки. Для прогноза изменений различных характеристик выбираются различные наборы моделей. Для отдельных районов созданы региональные климатические модели, которые могут показать мелкомасштабные изменения.

*Встроенная естественная изменчивость.* Если одну и ту же модель запускать снова и снова, она будет показывать различные результаты, так как она создана для воспроизведения естественной изменчивости климатической системы реального мира. Модели запускаются много раз и дают диапазон возможных будущих условий, которые включают в себя эту изменчивость.

*Неопределенность будущих эмиссий.* Изменение климата в будущем очень сильно зависит количества парниковых газов, которые будут поступать в атмосферу вследствие деятельности человека. Это один из самых значительных источников неопределенности (см. врезку выше).

Средняя протяженность льда в Баренцевом море для 1980–1999 гг., млн км<sup>2</sup>



## 3.2 БУДУЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ В ВИДЕ ДОЖДЯ И СНЕГА

*Хотя многие факторы влияют на изменения, происходящие в Арктике, температура воздуха, осадки в виде дождя и снега находятся среди ключевых параметров, которые оказывают воздействие на все составляющие криосферы.*

### Температура

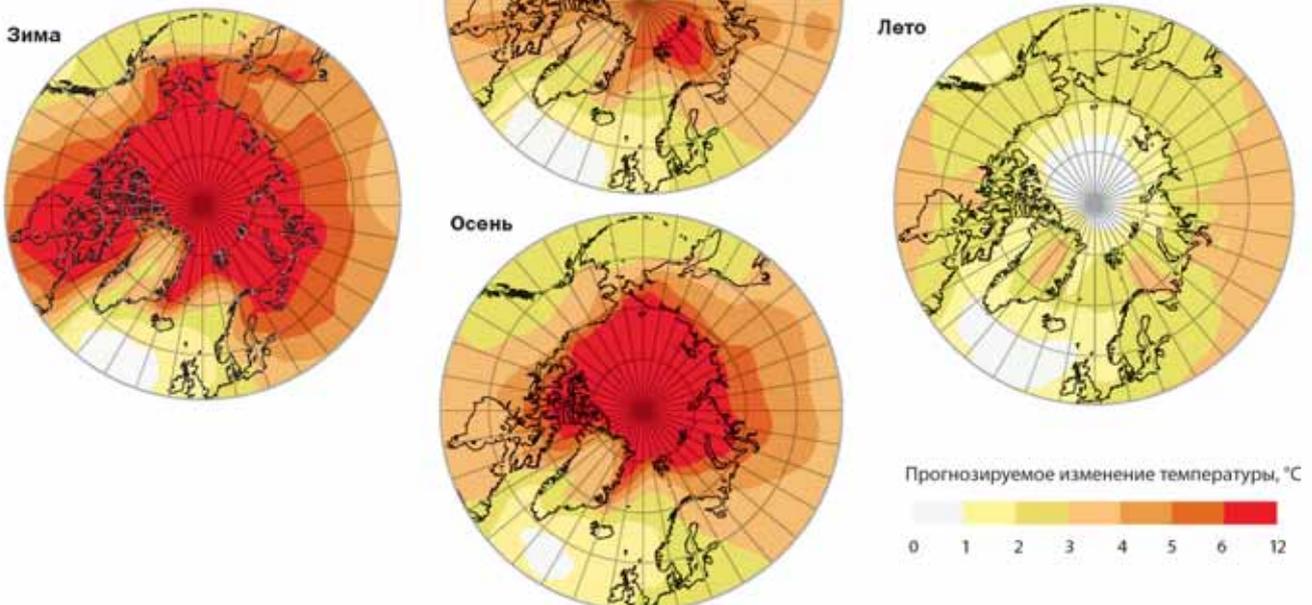
На протяжении последних нескольких десятилетий средняя температура воздуха в Арктике повышалась примерно в два раза быстрее, чем средняя глобальная температура. Многие климатические модели показывают, что эта тенденция сохранится, и Арктика будет теплеть быстрее, чем какое-либо другое место в мире.

Средняя температура в Арктике осенью и зимой, согласно прогнозам, увеличится на 3–6 °С ближе к концу XXI века (2080 г.).

Диапазон определяется различным ожидаемым изменением температуры в разных регионах Арктики, включая районы суши и океана.

Для большей части суши, зимнее потепление, согласно прогнозам, будет немного меньше, чем над океаном – между 2–3 °С к 2080 г. Самый сильный рост температуры ожидается осенью и зимой над районами, где исчезнет морской лед.

**Прогнозируемое изменение температуры приземного воздуха для конца XXI века (2070–2090 гг. относительно периода 1960–1990 гг.)**



*Численные модели прогнозируют, что Арктика будет нагреваться быстрее, чем какое-либо другое место в мире.*



© Sander van der Werf / Shutterstock.com

### Дожди и снегопады

Все модели и сценарии показывают увеличение осадков в виде дождя и снега в Арктике в XXI веке.

Это увеличение значительнее, чем прогнозируемое для остального мира.

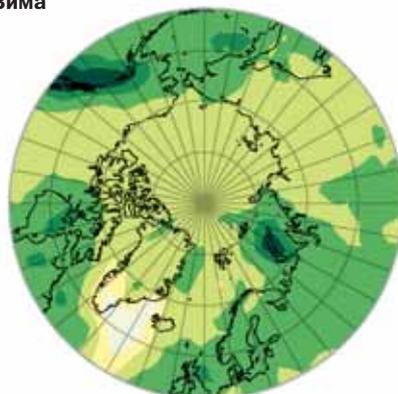
В Арктике имеется несколько регионов с отличающимися прогнозами.

В зависимости от района Арктики и используемого сценария количество осадков в виде дождя или снега для периода 2070–2090 гг. увеличится на 5–70%. Чем больше будет относительный рост количества дождевых или снежных осадков зимой и осенью, тем меньше увеличится количество осадков летом.

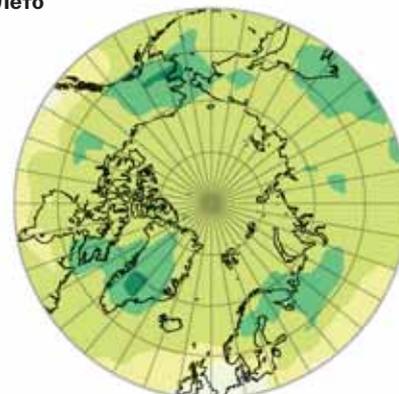
Несмотря на рост количества дождевых или снежных осадков, ожидается, что арктическая суша будет летом более сухой. Частично это следствие того, что более теплый воздух вызывает более сильное испарение с поверхности.

### Прогнозируемые изменения осадков в виде дождя и снега для лета и зимы к концу XXI века (для 2070–2090 гг. относительно 1960–1990 гг.)

Зима



Лето



Осадки, см/мес



### 3.3 БУДУЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА, ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ И ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ОЗЕР И РЕК

*Более высокие температуры и возросшее количество дождевых снежных осадков окажут влияние на количество снега и продолжительность периода замерзания грунта.*

#### Снег

Согласно прогнозам, для большей части территории Арктики к 2050 г. продолжительность периода со снежным покровом сократится на 10–20 %.

На Аляске и в северной Скандинавии продолжительность периода со снежным покровом в 2050 г., как ожидается, будет на 30–40 % меньше, чем сегодня. Быстрое сокращение длительности периода со снежным покровом также ожидается вдоль побережья Тихого океана в России. В Сибири, согласно прогнозам,

изменения будут минимальными (менее 10 %).

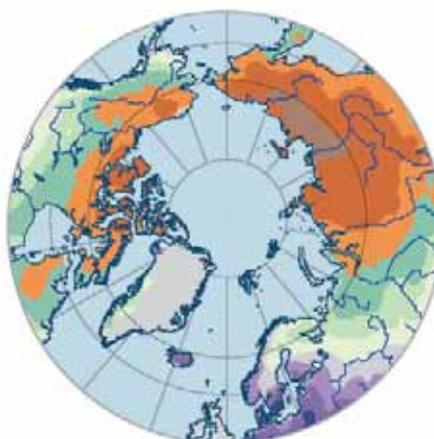
Максимальное количество снега, накапливающегося на земле, немного возрастет. Увеличение на 0–15 % ожидается для большей части территории Арктики с наибольшим ростом (15–30 %) в Сибири.

Частота выпадения дождя на снег – явление, называемое “дождь на снеге”, – согласно прогнозам, возрастет во всех районах Арктики в течение последующих 50 лет.

**Прогнозируемые изменения продолжительности периода со снежным покровом (слева) и общей суммы снежных осадков (справа) в Арктике к середине XXI века (для периода 2049–2060 гг. относительно периода 1970–1999 гг.)**



Ожидаемое изменение среднегодовой длительности периода со снежным покровом с 1970–1999 гг. по 2049–2060 гг., %



Ожидаемое изменение среднемесячных значений водного эквивалента снежного покрова с 1970–1999 гг. по 2049–2060 гг., %



Прогнозируемые изменения дождей и снегопадов вместе с изменениями температуры окажут воздействие на гидрологический цикл (перемещение воды) в арктической природной среде.

*Прогнозы показывают рост максимальной высоты снежного покрова на протяжении многих лет к 2050 г., но снег будет, как правило, лежать на земле с каждым годом все меньше времени.*

#### Модели прогноза снежных условий имеют ограничения

Современные численные модели могут прогнозировать крупномасштабные изменения снегопадов и характеристики снежного покрова, которые зависят от температуры. Возможность моделей давать прогноз деталей снежного покрова Арктики в будущем ограничивается двумя основными факторами. Первый – отсутствие систематического мониторинга снежных условий по всей Арктике. Это затрудняет разработку и тестирование моделей, которые прогнозируют снежные условия. Второй – современные модели используют относительно простое описание динамики снега. Интенсивные исследования будут направлены на развитие моделей, которые смогут воспроизводить детальные свойства в снега, такие, как слои льда в снежном покрове.



© George Burba / Shutterstock.com

### Вечная мерзлота

Прогнозы показывают, что температура почвы будет расти почти везде в Арктике с настоящего момента и до конца XXI века. В России увеличение температуры почвы на величину от 0,6 до 1 °С, согласно прогнозам, произойдет к 2020 г.

Это сопоставимо с увеличением на 0,5 и 1 °С с середины 1970-х гг. Это потепление приведет к таянию и сокращению протяженности вечной мерзлоты.

Когда вечная мерзлота тает, деятельный слой (верхний слой почвы над вечной мерзлотой, который оттаивает каждое лето) становится толще.

Это делает сушу более уязвимой к процессам деградации или к постоянному пересыханию.

Согласно прогнозам региональных климатических моделей, к 2100 г. верхние 2–3 м вечной мерзлоты растут на 16–20 % территории, которая сейчас в Канаде содержит вечную мерзлоту. Ожидается, что вечная мерзлота деградирует (либо растает, либо частично растает) на 57 % территории Аляски.

### Озерный и речной лед

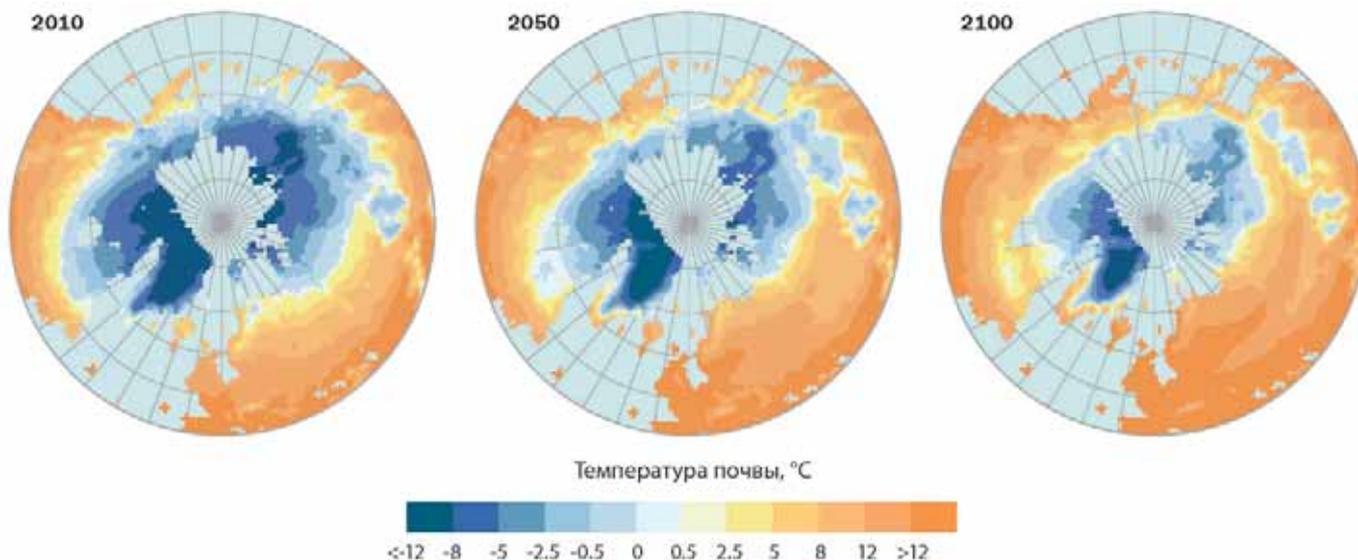
Несколько пионерских исследований использовали региональные климатические модели для прогноза будущих изменений льда на пресноводных озерах.

Эти исследования прогнозируют рост температуры воды озер настолько, что

лед будет вскрываться на 10–30 дней весной раньше и устанавливаться на 5–20 дней осенью позже к 2040–2079 гг. на территории между 40 и 75° с.ш. Согласно прогнозам, самый толстый озерный лед станет тоньше на 10–50 см, чем сейчас.

Исследования будущего изменения речного ледового режима были проведены для нескольких отдельных рек. Условия вскрытия рек с последующими наводнениями вследствие ледяных заторов могут стать менее суровыми на некоторых крупных реках Арктики, но на эти явления оказывает влияние также масштаб и скорость весеннего таяния снега.

### Прогнозируемое изменение температуры поверхности в XXI веке



## 3.4 БУДУЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВ, ЛЕДОВЫХ КУПОЛОВ И ГРЕНЛАНДСКОГО ЛЕДЯНОГО ЩИТА

*Потери льда горными ледниками Арктики, ледовыми куполами и Гренландским ледяным щитом оказывают влияние на весь мир, так как тает лед суши, талая вода поступает в океан, и растет уровень Мирового океана. Более 50 % недавнего повышения уровня Мирового океана произошло вследствие потери материкового льда в Арктике. Поскольку по прогнозам лед будет разрушаться с той же скоростью и даже быстрее, воздействие на уровень Мирового океана является главной проблемой.*



© James Balog / gettyimages.co.uk

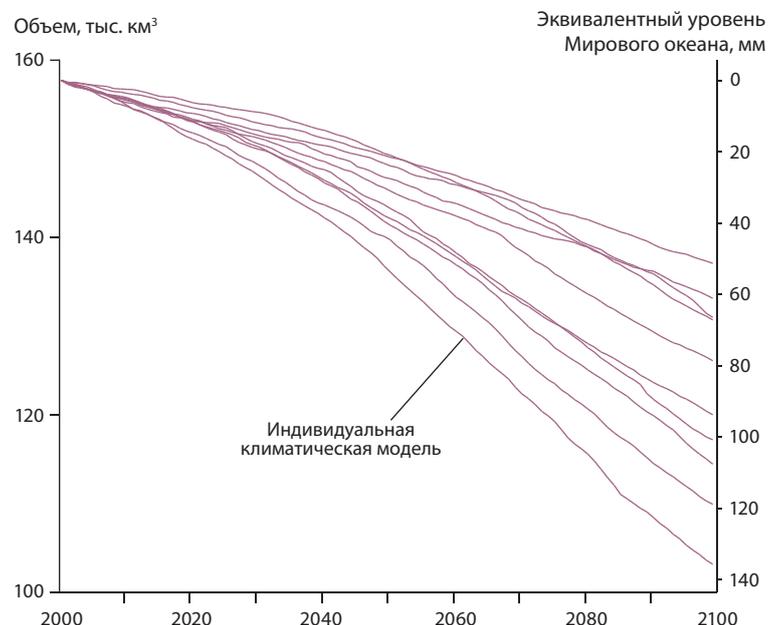
### Горные ледники и ледяные шапки

Общий объем льда в горных ледниках и ледовых куполах в Арктике, согласно прогнозам, сократится на 13–36 % к 2100 г., в зависимости от того, какая климатическая модель используется для расчетов. Есть значительные региональные различия в прогнозируемом количестве растаявшего льда ледников. Самые маленькие изменения ожидаются для ледовых куполов и изолированных ледников Гренландии (8 %), а самые большие – для Шпицбергена (54 %). Эти прогнозы не учитывают потери льда за счет откалывания айсбергов от края ледников, так что потери льда, вероятно, должны быть больше.

Горные ледники на северо-востоке Сибири, согласно прогнозам, потеряют 78 % от своей площади (не путать с объемом) к 2070 г.

Также как и в случае снежного покрова, данные модели испытывают недостаток информации о многих процессах, являющихся важными для ледников и ледовых куполов, например, характер их реакции на изменения температуры океана.

### Прогнозируемое изменение объема горных ледников и ледовых куполов Арктики в XXI веке и эквивалентный уровень Мирового океана



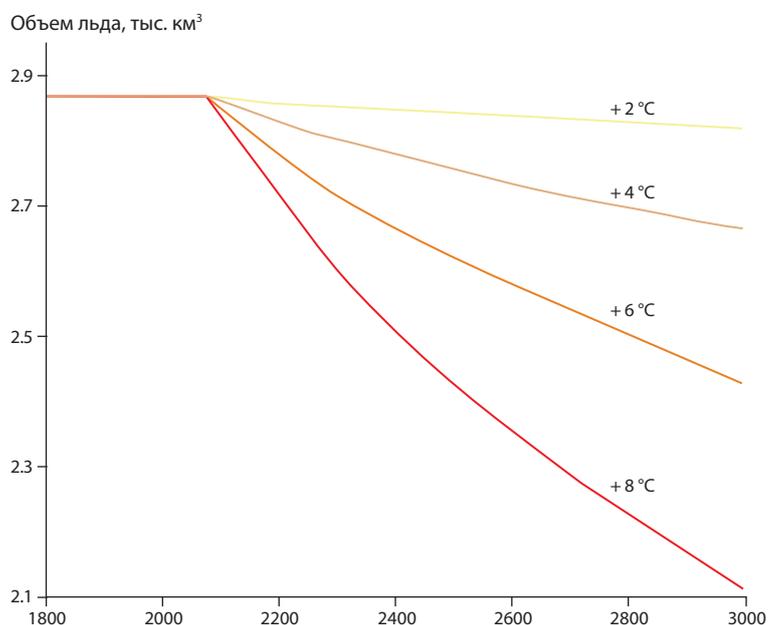


### Гренландский ледяной щит

Гренландский ледяной щит, согласно прогнозам, будет таять быстрее, чем сейчас, но современные модели не способны дать детальную информацию его отклика на дальнейшее потепление Арктики.

Модельные расчеты на более длинные промежутки времени показывают как Гренландский ледяной щит может отступить к 5000 г. н.э. с ростом летней температуры не более чем на 5 °С. Эти модели отмечают ускоренную потерю на более поздних стадиях отступления, когда центральная часть Гренландского ледяного щита станет разрушаться. Однако, они страдают от недостатка понимания взаимодействий между ледяным щитом, океаном и атмосферой. Требуется дополнительные исследования для более определенных прогнозов.

### Результаты моделирования Гренландского ледяного щита на длительный период для различных сценариев потепления (разные эмиссии парниковых газов)



## 3.5 БУДУЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МОРСКОГО ЛЬДА

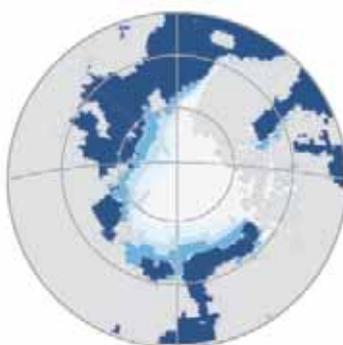
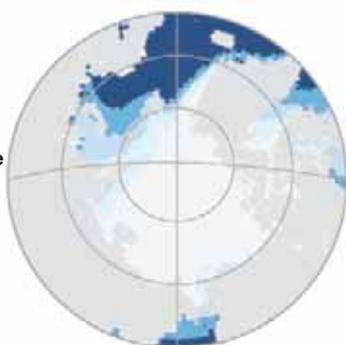
*Летний морской лед будет продолжать сокращаться. Вероятно, вследствие этого процесса Северный Ледовитый океан почти освободится от льда в летний сезон в течение следующих 30–40 лет.*



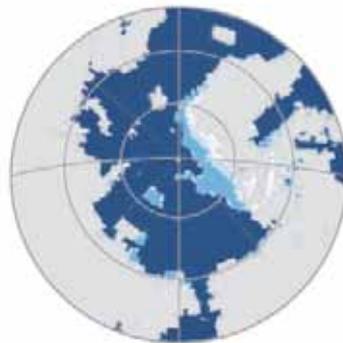
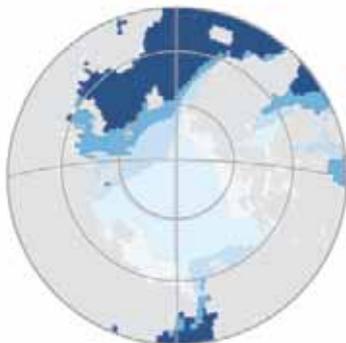
Март  
(конец зимы)

Сентябрь  
(конец лета)

Настоящее  
время



+ 30 лет



Модельная толщина морского льда, м

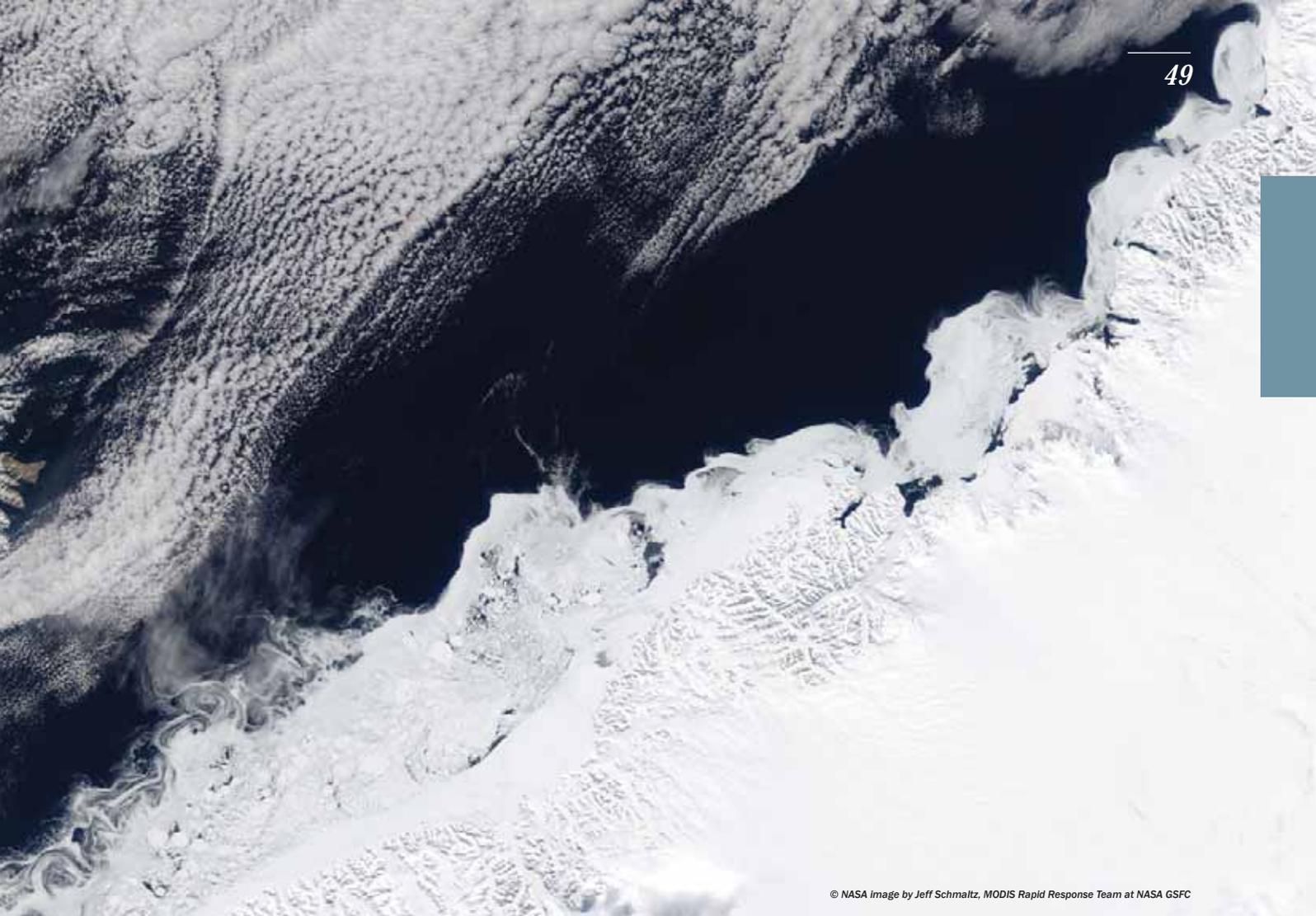
0 0.4 0.8 1.2 1.6 2.0

Модельная толщина морского льда, м

0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0

Расчеты по климатическим моделям показывают, что толщина морского льда и протяженность морского льда летом будут продолжать уменьшаться в последующие десятилетия. Вероятно, скорость сокращения будет нарастать. Мы можем ожидать почти полное отсутствие льда летом в Северном Ледовитом океане к середине столетия. Небольшое количество морского льда, согласно прогнозам, останется в летний сезон в изолированных районах, таких, как северная часть Канадского Арктического архипелага.

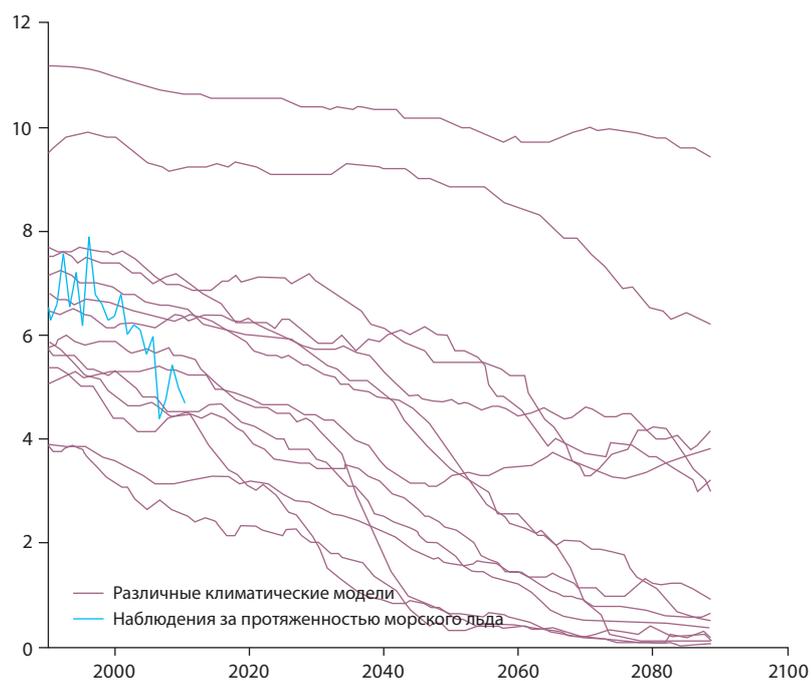
Вероятно, будут значительные межгодовые вариации протяженности морского льда в ближайшие десятилетия.



© NASA Image by Jeff Schmaltz, MODIS Rapid Response Team at NASA GSFC

## Прогнозируемое изменение протяженности морского льда в XXI веке

Площадь морского льда в сентябре, млн км<sup>2</sup>



### Понимание процессов в морском льде позволило улучшить климатические модели

Одним из главных достижений климатического моделирования для Арктики за последние пять лет стало введение в глобальные климатические модели динамики морского льда. Почти все современные модели сейчас включают в себя усовершенствованный блок динамики морского льда. Некоторые модели могут учитывать отдельные категории льда по толщине.



## ЧАСТЬ 4:

# КАК ЭТИ ИЗМЕНЕНИЯ ВЛИЯЮТ НА ЛЮДЕЙ И ПРИРОДУ

*Прошлые, настоящие и будущие изменения, описанные в предыдущих разделах, оказывают значительное воздействие на экосистемы и людей. Скорее всего, все аспекты жизни общества будут затронуты этими изменениями, в том числе, транспорт, жизнедеятельность людей, промышленность, строительство. Влияние будет ощущаться на всех уровнях, от местного до глобального. В этом разделе рассматриваются локальные и региональные эффекты. В следующем разделе будут более детально рассмотрено влияние на глобальном уровне.*

### Арктические экосистемы и природные ресурсы

- Изменения в криосфере Арктики вызывают фундаментальные изменения характеристик арктических экосистем и в некоторых случаях потери целых видов.
- Сокращение морского льда влечет за собой значительную утрату среды обитания для некоторых видов, в том числе белых медведей, тюленей и некоторых микробных сообществ.
- Доступность природных ресурсов, таких как древесина и запасы промысловых рыб, может измениться. Неопределенность в прогнозе этих изменений затрудняет планирование.
- Увеличение таяния ледников может создать проблемы для гидроэнергетики.

### Доступность

- По мере сокращения морского льда летом, Северный Ледовитый океан становится более открытым для судоходства, что идет на пользу нефтяным, газовым и горнодобывающим отраслям промышленности, рыбному промыслу и туризму.
- Более короткий сезон существования зимников увеличивает материальные издержки для населения и промышленности, особенно в северной Канаде и России.
- Путешествия становятся более опасными, поскольку зимники разрушаются из-за таяния, разрушается

морской ледяной покров, растут опасности от айсбергов.

### Риски для зданий и берегов

- Здания и инфраструктура в Арктике находятся в опасности из-за таяния вечной мерзлоты, увеличения снеговой нагрузки и наводнений, вызванных ледяными заторами на реках и усиленным таянием ледников.
- Берега арктических морей становятся все более уязвимыми к эрозии, так как припай разрушается раньше и вечная мерзлота оттаивает.

### Переносы загрязнений

- Пути переноса загрязняющих веществ в Арктику и внутри Арктики меняются из-за изменений в криосфере. Например, таяние снега и льда может привести к освобождению загрязнителей, хранившихся десятилетиями.
- Рост судоходства, эксплуатации природных ресурсов, промышленности и туризма в Арктике принесет дополнительные риски попадания загрязняющих веществ в окружающую среду Арктики.

### Условия жизни

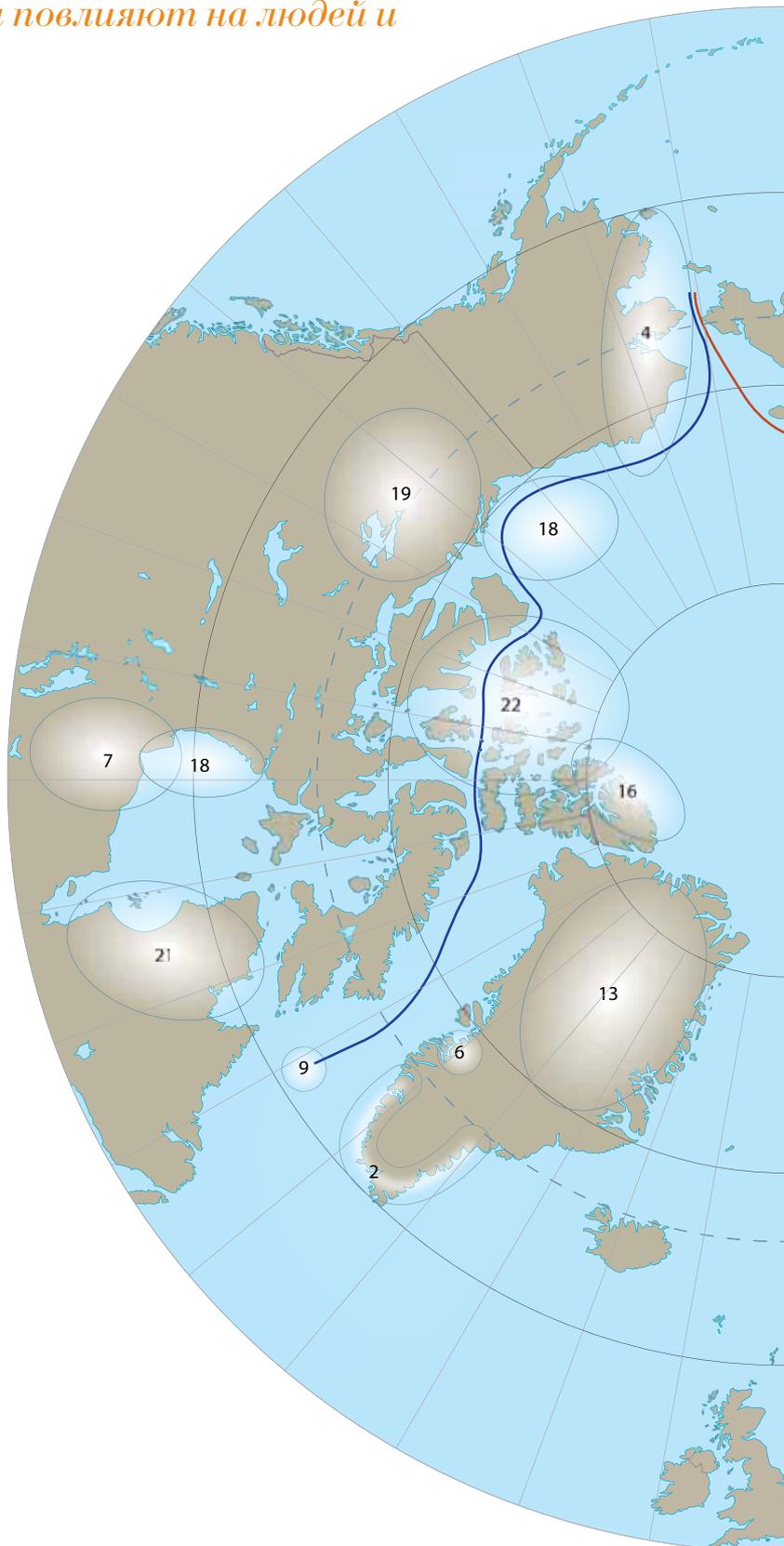
- Наблюдаемые и ожидаемые в будущем изменения в арктической криосфере воздействуют на общество на многих уровнях. Возникают проблемы, особенно для местных общин и традиционного образа жизни. Появятся также и новые возможности.

# ГДЕ В АРКТИКЕ?

*Этот разворот дает примеры того, где и как изменения криосферы Арктики повлияют на людей и экосистемы.*

## Воздействие на людей

- 1 Инфраструктура в России (включая такие крупные города как Якутск) подвержена таянию вечной мерзлоты. Многие крупные поселения, города и нефтепроводы строятся на вечной мерзлоте.
- 2 В Гренландии растет производство гидроэлектроэнергии с использованием талой воды из тающего ледяного покрова. Это обеспечит более 50 % внутреннего потребления энергии в стране.
- 3 Эрозия берегов вследствие таяния морского льда и вечной мерзлоты будет сильнее в **морях Лаптевых и Восточно-Сибирском в России.**
- 4 Ряд инуитских деревень на **Аляске** готовится к переезду из-за деградации берегов.
- 5 Рост болезней деревьев и увеличение снеговой нагрузки влияют на лесное хозяйство в **Фенноскандии.**
- 6 Больше туристов посещают ледниковый фьрд **Илулиссат в Гренландии**, чтобы увидеть фронт отступающего ледника и плавающие айсберги.
- 7 Есть проблемы с зимниками, поскольку озерный и речной лед тает раньше. Мягкая погода в марте 2010 г. привела к закрытию 2200 км зимников в провинции **Манитоба, Канада.**
- 8 Охота становится все труднее в северной Канаде, так как более короткие снежные сезоны затрудняют доступ к охотничьим угодьям и строительство убежищ из снега.
- 9 **Северо-Западный проход и Северный морской путь** чаще открываются летом на короткое время, что позволяет судам их проходить.
- 10 Круизный туризм растет в **Северном Ледовитом океане.**
- 11 Новые обязательные правила для судов, работающих в водах, покрытых льдом (таких как Северный Ледовитый океан), разрабатываются Международной морской организацией в ответ на меняющиеся условия распространения морского льда.
- 12 Западное побережье **Шпицбергена** было полностью свободно ото льда в зимний период с 2005 по 2009 г. Это увеличило испарение загрязняющих веществ из воды в воздушную среду.
- 13 Сейчас подъем уровня Мирового океана на более чем 50% идет за счет потери льда из горных ледников и ледовых куполов Арктики и **Гренландского ледяного щита.**





## Влияние на экосистемы

- 14 Деградация мерзлоты вызвала коллапс, осушение и полное исчезновение многих водных объектов в **Сибири**.
- 15 Увеличение глубины снежного покрова повышает микробную активность в почве в **Сибири**.
- 16 Вдоль северного побережья острова **Элсмир** уникальные сообщества микробов в древнем шельфовом леднике находятся под угрозой исчезновения, так как шельфовые ледники исчезают.
- 17 В **Фенноскандии** уникальная арктическая среда обитания, известная как “болотные бугры”, сокращается быстро из-за таяния вечной мерзлоты, и может полностью исчезнуть к 2050 г.
- 18 В южной части **моря Бофорта** и на западе **Гудзонова залива** у белых медведей выживает меньше молодняка в связи с сокращением морского льда.
- 19 В зимнее время на **северо-западе Канады** и в **Фенноскандии** больше дождей стало выпадать на снежный покров. Они создают ледяную корку, которая мешает кормиться пасущимся животным.
- 20 В российской Арктике, к западу от полуострова **Таймыр** ледяная корка на земле, которая не позволяют оленям кормиться, формируются реже, так как снег тает быстрее в конце зимы. Это улучшает качество оленьих пастбищ.
- 21 Новые пруды и озера появляются на поверхности заболоченных почв в **Нунавике, северный Квебек**, из-за оттаивания вечной мерзлоты.
- 22 Водные объекты иссякают в связи с летними засухами в **Нунавуте, северная Канада**.
- 23 Короткоклювые гуменники на **Шпицбергене** откладывали яйца раньше и птенцы вырастали быстрее в годы с меньшим снежным покровом в период между 2003 и 2006 гг.
- 24 Виды, которые зависят от мелких ракообразных, живущих близко к кромке льда (например, белая чайка, гренландский кит и мойва) будут испытывать недостаток пищи, поскольку морской лед сокращается.
- 25 Изменения в Северном Ледовитом океане будут иметь значительные экологические последствия.
- 26 Хохлачи, гренландские тюлени, кольчатые нерпы и тихоокеанские моржи демонстрируют все признаки уменьшения популяции в районах сокращения морского льда.





## 4.1 ИЗМЕНЕНИЕ В АРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМАХ

*Изменения в арктических водах и льдах серьезно влияют на растения, животных и места их обитания, они также влияют на снабжение рыбой, древесиной и на состояние пастбищ, что важно для населения Арктики.*

*Лес, тундра, озера, реки, болота и моря Арктики содержат виды, не встречающиеся больше нигде на Земле. Они дают богатую пищу и места обитания мигрирующим животным из более южных регионов. Несколько сотен миллионов птиц мигрируют в Арктику каждое лето, киты же и тюлени собираются в богатых питательными веществами водах вдоль кромки льдов, чтобы кормиться планктоном и рыбой.*



© W. Lynch / ArcticPhoto

## ЭКОСИСТЕМЫ СУШИ

Изменения, особенно влияющие на экосистемы суши, это уменьшение площади и периода существования снежного покрова, изменения в круговороте воды, более теплые зимы и таяние вечной мерзлоты.

С уменьшением времени существования снежного покрова вегетационный период станет больше, и арктическая растительность изменится – будет больше кустарников и меньше лишайников. Животным, в том числе оленям, как правило, благоприятно меньшее количества дней со снежным

покровом: как короткоклювые гусенички, так и олени давали потомство раньше в периоды, когда снег на земле лежал в течение меньшего времени.

Глубина снега влияет на экологию почвы. Эксперименты показывают, что чем глубже снег, тем почва более теплая (в настоящее время это фиксируется в Евразийской Арктике), потому что слой снега изолирует почву от холодного воздуха. Следствием этого является большая микробная активность в почве и более высокий уровень эмиссии углекислого газа.

*Внезапные оттепели зимой приводят к исчезновению снега и делают растения беззащитными перед последующими морозами, которые могут погубить кустарники и даже деревья.*

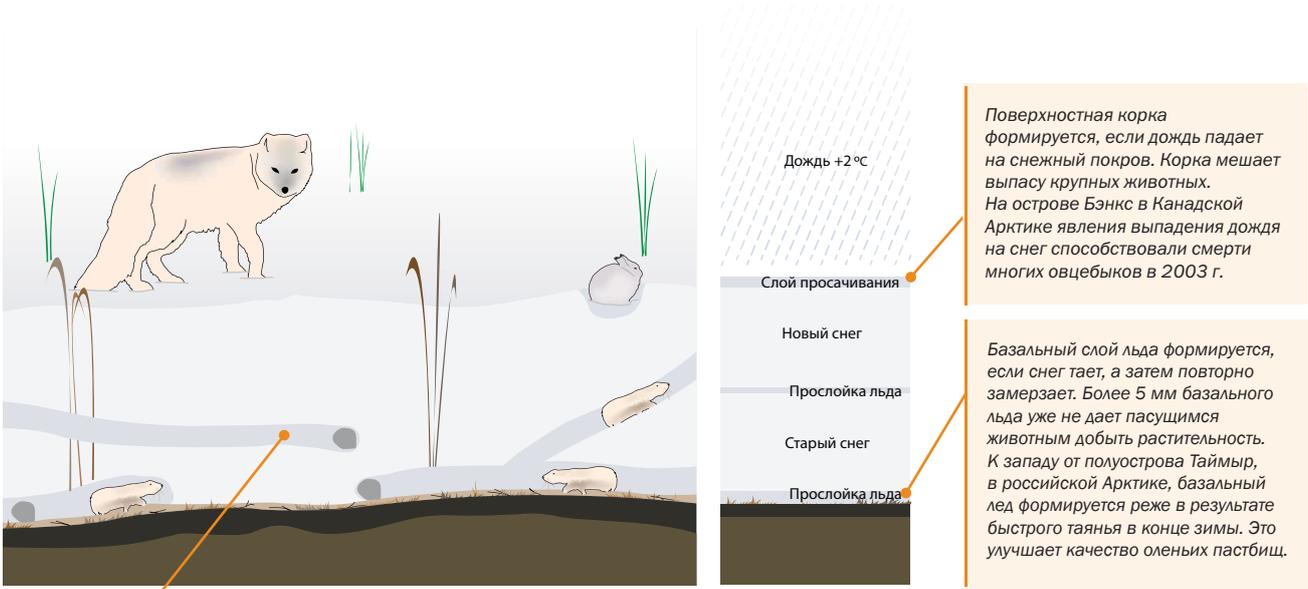


© Susanne Liebner

### Болотные бугры

Эта болотная среда обитания (“болотные бугры”) с замороженными торфяными холмами стремительно сокращается в Финноскандии из-за таяния вечной мерзлоты. Ожидается, что она исчезнет почти полностью к 2050 г., лишив перелетных болотных птиц важного места для кормления.

## Под снегом



Лемминги и другие грызуны проводят зиму и выращивают детенышей в "гнездах" или норах под снегом. Если снежный покров является слишком лдыстым к весне в результате дождей и таяния снега в середине зимы, то слой снега изолирует хуже и детеныши леммингов, скорее всего, умрут от холода. Меньше леммингов означает меньше пищи для песцов и хищных птиц, которые ими питаются.

## Последствия зимних дождей

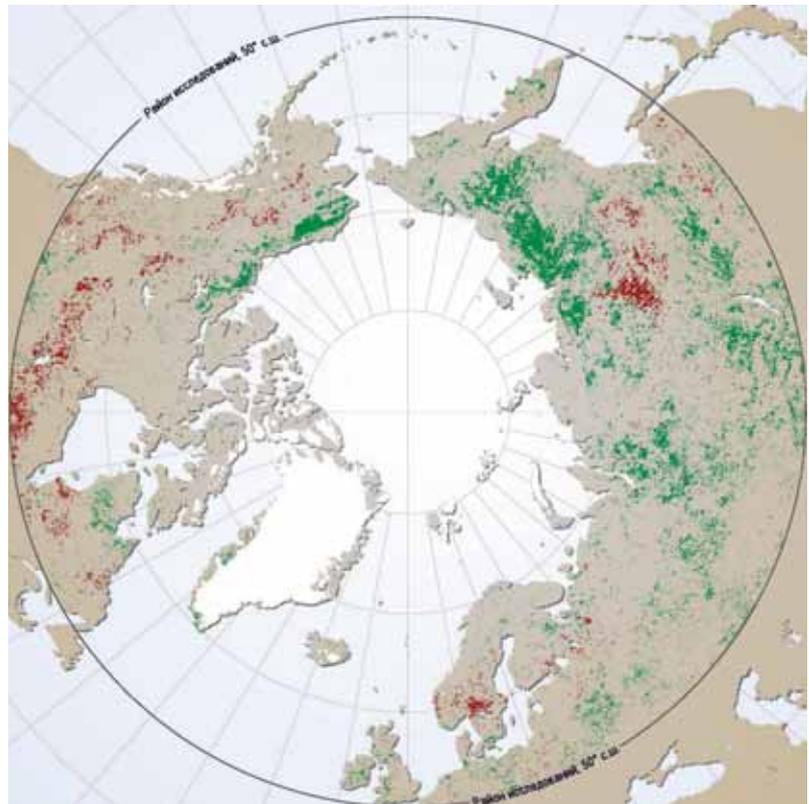
Выпадения зимних дождей вместо снегопадов, по прогнозам, увеличатся в Арктике по мере потепления климата, и более частые явления дождя на снегу были зафиксированы в северо-западной Канаде и Финноскандии. Дождь падает на снег, меняет его структуру и тем самым влияет на травоядных животных (см. верхний рисунок). Это хорошо известно оленеводам Финноскандии.

Внезапные зимние оттепели также происходят теперь чаще, подвергая растительность потенциальной гибели из-за возвращения морозов. Многие аляскинские желтые кедры, дающие ценную древесину в Британской Колумбии и на Аляске, погибли недавно из-за ранних оттепелей. Деревья выходят из состояния зимнего покоя и теряют морозостойкость в течение февральских оттепелей из-за отмораживания корней во время вернувшихся морозов.

## Распространение кустарников

Данные аэрофотосъемок и спутниковых снимков показывают, что растительность тундры Арктики находится в переходном периоде. Крупные виды, такие как ива, ольха и береза продвигаются на север в Аляске, Канаде, Скандинавии и некоторых частях России.

## Продуктивность растительности – тренды за 1982–2005 гг.



- Увеличение в сезон максимальной продуктивности и роста
- Уменьшение продуктивности  
(лесные области менее подвержены пожарам в последнее время)



© Jan Vermeer / Foto Natura / Minden Pictures / Corbis

## ПРЕСНОВОДНЫЕ И МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Сократившийся ледяной покров на арктических озерах и реках и быстрое уменьшение площади морского льда летом, наблюдающееся в последние годы, могут принести существенные изменения в пресноводные и морские экосистемы (см. врезку справа на следующей странице).

Исчезновение льда, особенно обширных площадей морского льда, будет иметь негативные последствия для некоторых видов животных. Изменения в динамике вечной мерзлоты, льда и талой воды влияют на физические и химические условия в пресноводных системах и в морской Арктике.

### **Больше озер и прудов, или меньше?**

Пресноводные озера, пруды и болота важны для арктических экосистем. В них живут насекомые в личиночной стадии (например, комары), которые в свою очередь обеспечивают питание птиц и других животных. Таяние вечной мерзлоты может либо частично или полностью осушить эти озера, пруды и болота, как это произошло в некоторых районах Сибири и Канады, либо создать новые мелкие водоемы и озера поверх заболоченных почв, что происходит в других регионах Арктики, например, в Нунавике, северный Квебек. Будет ли среда обитания потеряна или, наоборот, создана зависит от условий подстилающей почвы. Одна из уникальных арктических болотных сред обитания, из-за замороженных торфяных холмов названная “болотные бугры”, быстро сокращается из-за таяния вечной мерзлоты, и может полностью исчезнуть к 2050 г.

Многие озера и болота снабжаются водой в летний период за счет таяния снега. Поскольку стало меньше снега, и он тает раньше и быстрее, такое снабжение водой может прекратиться. При более теплом воздухе и меньшем ледяном покрове поверхностное испарение растёт и некоторые виды болот высокоширот Арктики исчезнут полностью.

### **Лед – это уникальная среда обитания**

Помимо того, что лед влияет на воду под ним, он сам по себе является уникальным местом обитания (см. врезку). Морской лед особенно важен. Это твердая поверхность для млекопитающих и птиц, на которой они отдыхают, выращивают потомство, а в некоторых случаях это платформа, с которой они охотятся. Небольшие животные, живущие рядом с морским льдом (рыбы и крошечные ракообразные) являются источником богатой жирами пищи. Если Северный Ледовитый океан станет полностью свободным ото льда в летний период в течение нескольких десятилетий, это драматическое изменение будет иметь огромные экологические последствия.

### **Виды, которые живут на морском льду или вблизи него**

Многие виды зависят от мелких ракообразных, которые живут рядом с морским льдом. Эти виды включают птиц, таких как чайки, китов, таких как гренландский кит, и рыб, таких как мойва, арктическая и полярная треска. Поскольку лед отступает, их источник пищи истощается, или, по крайней

мере, пищу становится труднее найти. Арктическая и полярная треска являются ключевыми видами арктической морской пищевой цепи, дающими пищу для морских птиц, тюленей, китов и других рыб, например, атлантической трески. Мойва и атлантическая треска – важные промысловые виды, и поэтому сокращение морского льда имеет значение для промышленного рыболовства, а также для биоразнообразия.

Хохлачи, гренландские тюлени, кольчатые нерпы и тихоокеанские моржи демонстрируют признаки сокращения численности в некоторых областях, связанных с сокращением морского льда. Канадская популяция белой чайки снизилась на 80 % в течение последних 30 лет. Этот вид тесно связан с морским льдом – чайки мигрируют вдоль кромки льда в поисках пищи. Тесно связанные со льдом тюлени (хохлачи, лысуны, полосатые и пятнистые тюлени), как ожидается, уменьшат воспроизводство, так как места их обитания становятся менее устойчивыми.

Белый медведь сильно зависит от морского льда. Снижение репродуктивности белых медведей на западе Гудзонова залива было связано с ранним разрушением морского льда, поскольку выживание самок белого медведя значительно ниже в периоды, когда увеличивается безледный период в южной части моря Бофорта к северу от Аляски. Ожидается резкое сокращение численности белого медведя, и даже потеря вида в целом в местах, где они в настоящее время распространены.



*Потеря морского льда в летний период имеет огромные экологические последствия.*



© Josef Wiktor / Norwegian Polar Institute

#### Древние сообщества под угрозой

Уникальные сообщества микробов и беспозвоночных живут в озерах на древних шельфовых ледниках вдоль северного побережья острова Элсмир. Этим сообществам серьезно угрожает потеря среды обитания, и, как полагают, они, скорее всего, вымрут. На острове Элсмир 23% обитателей шельфового ледника погибли теплым летом 2008 г.

#### Без крышки: как сократившийся ледяной покров влияет жизнь в воде

Когда лед сходит с поверхности воды больше солнечного света, кислорода и питательных веществ проникают вглубь и водная толща теплеет. Экологические последствия этих изменений следующие:

- Водоросли вблизи поверхности (фитопланктон) увеличивают рост. Спутниковые снимки показывают, что количество фитопланктона возросло в Северном Ледовитом океане с 2003 г. в ответ на увеличение площади открытой воды.
- Микробы, включая адаптированные ко льду водоросли, сильнее страдают от воздействия вредных ультрафиолетовых лучей.
- Испарение с поверхности воды растет. Для озер это может означать понижение уровня воды или даже риск высыхания летом. Для морей эффект заключается в увеличении осадков в виде дождей в прибрежных областях.

#### Последствия сокращения морского льда

Победители	Проигравшие
Планктон лучше развивается в открытой воде	Живущие на льду микробы теряют среду обитания
Животные, питающиеся планктоном, получают больше еды	Мелкие ракообразные теряют свой защитный слой
Хищники, охотящиеся в открытой воде, получают преимущества	У птиц и рыб, питающихся ракообразными, связанными со льдом, становится меньше пищи
	Тюлени теряют места размножения и защиту от хищников
	Белые медведи и песцы теряют места охоты
	Гренландским китам, белухам и нарвалам, возможно, придется изменить структуру своего питания
	Моржи едят донных моллюсков с глубины до 100 м. Если морской лед будет существовать только над глубиной, моржи не смогут отдохнуть вблизи своего источника питания

## ИЗМЕНЕНИЯ В МОРСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

Так как площадь морского льда летом сокращается, продуктивность океана увеличивается (см. врезку справа на стр. 59). Это означает больше пищи для многих видов – китов, тюленей и птиц – питающихся в открытой воде. Но место и время существования источников пищи, скорее всего, изменится, поэтому животным придется приспосабливаться и находить новые места для пропитания.

Районы, где ледники и реки стекают в море, содержат много питательных веществ, отчасти потому, что вода приносит биогенные и органические вещества, стимулирующие рост планктона и беспозвоночных. Эти области важны и для нагула более крупных животных, таких как рыбы, тюлени и белухи. Рост скорости таяния ледников и ледовых куполов увеличивает поток осадочных веществ в море, что приводит к росту питательных веществ.

Тем не менее, количество питательных веществ, переносимых некоторыми реками может уменьшиться в результате изменения динамики льда в пресноводных системах (см. врезку). Пресные воды имеют тенденцию образовывать устойчивый верхний слой, который лежит над более тяжелой соленой морской водой. Он мешает нормальному поступлению биогенных веществ, поднимающихся вверх от морского дна, что снижает продуктивность.

Суммарное влияние этих изменений на морские экосистемы, например, вокруг Гренландии, плохо изучено, и остается важной темой будущих исследований.

В конечном счете, когда края спускающихся в море ледников растают, эти области нагула животных исчезнут.

*Арктика является домом для трех видов китов, которые не встречаются больше нигде на Земле, это гренландский кит, белуха и нарвал. Нарвал наиболее уязвим к изменениям среды. Он специализируется на питании рыбой из глубоких слоев под морским льдом.*



### Почему реки могут переносить меньше питательных веществ к морю

В крупных арктических реках, таких как Маккензи в Канаде (см. фото) и Лена в России, взлом льда весной происходит драматично. Наводнения из-за ледовых заторов возникают когда куски льда образуют плотину и перекрывают русло, изменяя ландшафт и создавая озера и болота. В этих озерах, растения и микробы производят органическое вещество и осадки, создавая большой объем питательных веществ, которые, в конечном счете, попадают в океан. Частота наводнений из-за ледовых заторов в реке Маккензи уменьшилась, и некоторые из озер, расположенных выше, не заполняются повторно так часто, как ранее. В итоге сокращается поступление питательных веществ в море.



© Max Lindenthaler / Shutterstock.com



© Paul Nicklen / gettyimages.co.uk

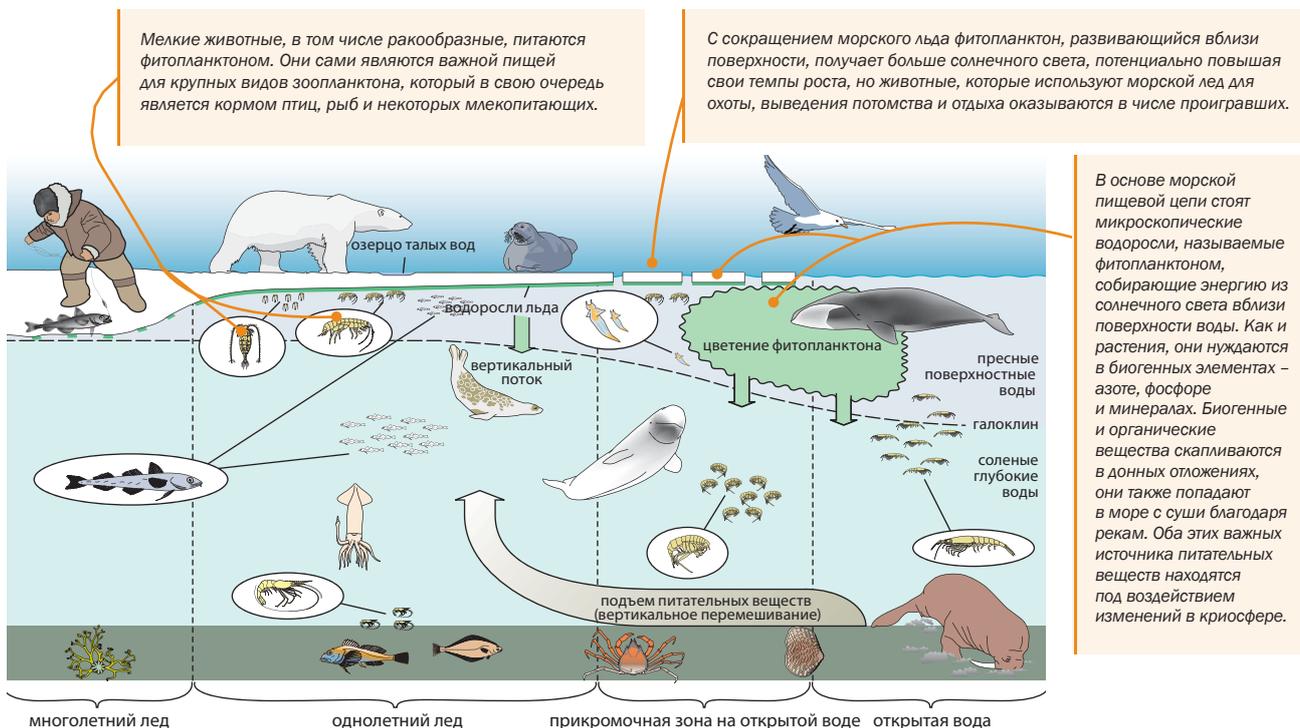
### Захватчики с юга

Многие морские виды, в настоящее время живущие южнее, например, трубачи, мидии и усюногие раки, смогут распространиться в Северный Ледовитый океан по мере его потепления и отступления морского льда. Виды из Берингова и Чукотского морей, как ожидается, пересекут Северный Ледовитый и вторгнутся в Атлантический океан, где они будут конкурировать с аналогичными атлантическими видами. Потенциальное вторжение тихоокеанских морских ежей вызывает обеспокоенность, так как они крайне прожорливы. Морские ежи могут серьезно повредить или даже уничтожить популяции медленно растущих арктических морских водорослей. Крупные животные также двигаются на север. Например, серый тюлень был замечен на юге Гренландии впервые в 2009 г. С новыми пришельцами появились новые болезни и паразиты, которые угрожают уникальным арктическим видам, таким как нарвал.



© NatureDiver / Shutterstock.com

### Морская пищевая цепь в Арктике





## 4.2 ИЗМЕНЕНИЯ В ПРИРОДНЫХ РЕСУРСАХ

*Возобновляемые ресурсы напрямую зависят от изменений в криосфере: таяние снега и льда влияет на жизнь животных и рыб, оттаивание вечной мерзлоты влияет на леса, а таяние ледников обеспечивает водой гидроэлектростанции. Невозобновляемые ресурсы, такие как нефть, газ и минералы косвенно зависят от изменений в криосфере через изменение доступа к местам добычи этих ресурсов и транспортных возможностей вывоза.*



## ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ РЕСУРСЫ

### *Возобновляемые ресурсы, напрямую зависящие от изменений криосферы.*

#### **Рыбный промысел**

Таяние морского льда влияет на расположение и поведение косяков рыб, поскольку их сезонные миграции связаны с формированием и таянием льдов. Раннее отступление морского льда и более длительный безледный сезон может привести к тому, что некоторые коммерчески важные виды рыб продвинулись к северу, тем самым открыв новые промыслы. Например, изменения в морском льде могут способствовать увеличению популяций атлантической трески и ее продвижению на север, что увеличит значение ее промысла.

Однако, численность рыб других видов, таких как гренландский палтус, может уменьшиться. Пресноводное рыбное хозяйство также будет меняться. На промысловых рыб в озерах и реках влияет укороченный период существования льда. Виды, предпочитающие низкие температуры, например, арктический голец и озерная форель, могут сократить численность.

#### **Ресурсы дикой природы**

Охота является важным традиционным средством существования людей по

всей Арктике и важным источником местных продуктов питания. Изменения в снежном покрове, льде и вечной мерзлоте непосредственно влияют как на охотников, так и на животных, на которых охотятся, поскольку поездки в охотничьи угодья становятся все труднее, а животные выдвигаются на новые места, реагируя на изменения криосферы.

Доступ к некоторым важным местам охоты на тюленей, моржей и оленей затрудняется изменениями в морском льде, особенно весной и осенью. В Гренландии охотники, использующие собачьи упряжки, вынуждены ездить по суше, так как маршруты по льду уже невозможны; эти поездки занимают больше времени и более опасны. По прогнозам, уменьшение снежного сезона на севере Канады сократит период использования снегоходов для охоты. Это также повлияет на строительство снежных приютов, используемых во время охотничьих поездок.

Некоторые виды, добывающие себе пищу охотой, деградируют в связи с изменением мест обитания. Например, численность белых медведей и кольчатых нерп, питающиеся за счет

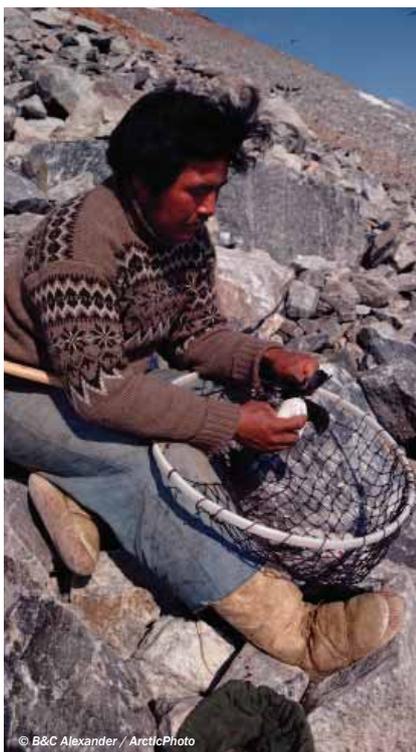
охоты, сокращается из-за изменений в морском ледовом покрове.

#### **Оленеводство**

Оленеводство является важным средством существования для саамов Финноскандии и коренных народов Российской Арктики. Изменения в снежном покрове, вечной мерзлоте, речном и озерном льде непосредственно влияют на оленьи пастбища.

В результате более частых явлений дождя на снегу и оттепелей в середине зимы раньше начинается вегетационный период, что способствует улучшению оленьих пастбищ. С другой стороны, более раннее вскрытие речного и озерного льда затрудняет оленям, особенно новорожденным телятам, переход с зимних пастбищ на летние.

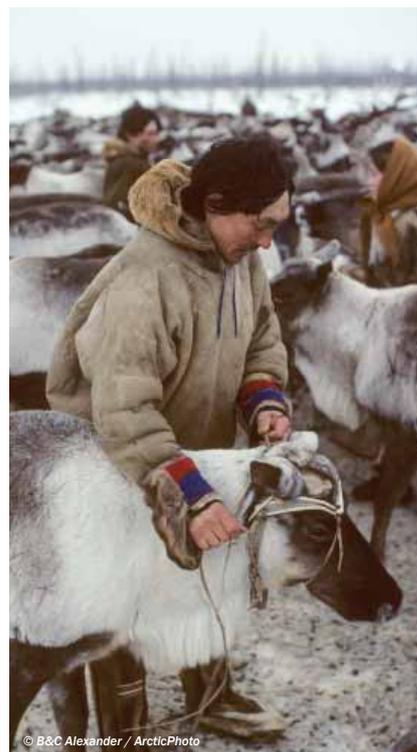
Также более глубокий снег и ледяные корки делают затруднительным прокорм оленей зимой. В Финноскандии смертность среди оленей была высокой зимой, когда образовалась крепкая ледовая корка, и весной родилось меньше телят. В целом, изменения криосферы преимущественно негативны для оленеводства.



© B&C Alexander / ArcticPhoto



© B&C Alexander / ArcticPhoto



© B&C Alexander / ArcticPhoto

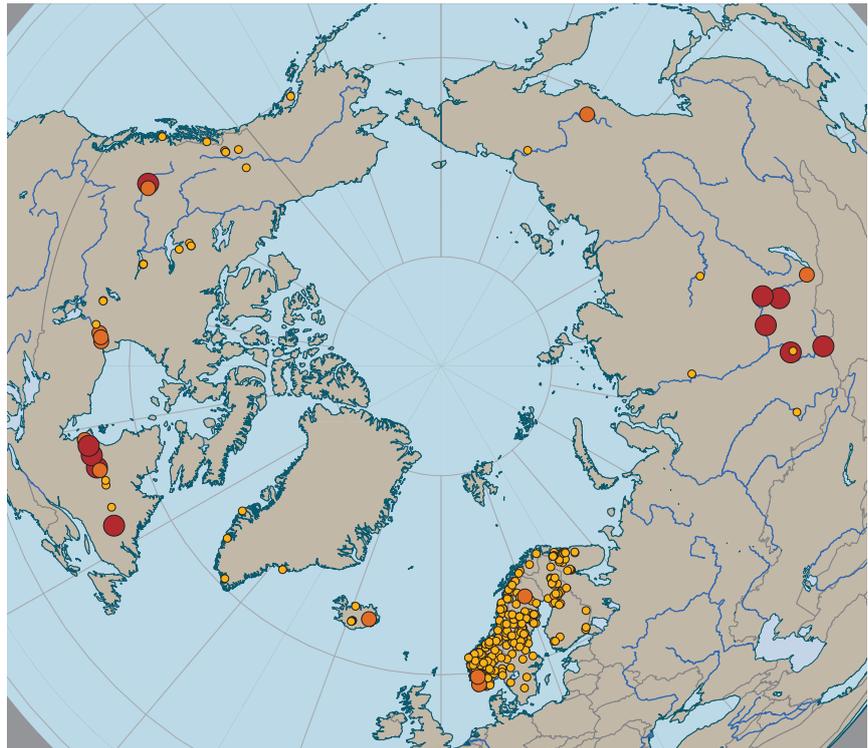
## Основные сооружения гидроэнергетики на реках с длительным ледовым периодом

### Лесное хозяйство

Коммерческое лесное хозяйство – важная отрасль экономики во многих частях южной Арктики, в частности, в Швеции и Финляндии. Так как вечная мерзлота оттаивает, линия леса будет двигаться на север, открывая новые территории для лесного хозяйства. Однако, движение на север будет неравномерным, поскольку во многих частях Арктики не хватает воды в почве для поддержания роста деревьев. Области, в которых достаточное количество почвенной влаги, включают восток Канады, запад Российской Арктики и Фенноскандию.

Многие существующие леса растут медленнее из-за более частых зимних оттепелей, которые приводят к недостатку талой воды весной, когда деревья наиболее в ней нуждаются. Хвойные виды – сосны, ели и можжевельник – особенно страдают, в то время как широколиственные деревья – береза, осина и ольха – более эффективно используют для роста летние осадки.

Деревья более восприимчивы к насекомым-вредителям, распространяющимся в результате засух, лесных пожаров и ущерба, нанесенного тяжелыми снегопадами. Сибирский шелкопряд в настоящее время представляет собой серьезную угрозу хвойным лесам Скандинавии, а североамериканский жук-гравер способствовал высокой смертности белых елей во многих частях Аляски.



Установки, МВт:

● < 600    ● 600 - 2000    ● > 2000

### Гидроэлектростанции

Гидроэнергетика стремительно развивается как результат большей доступности воды, вследствие таяния ледников и снега в зимнее время (см. врезку). ГЭС мощностью более 80 ГВт уже построены в арктических регионах.

В настоящее время большая часть энергии, генерируемая в период весеннего половодья, тратится впустую, потому что это весеннее увеличение лежит за пределами оперативного потенциала электростанций. Более частое таяние и замерзание льда

и снега в зимний период будет способствовать более равномерному снабжению водой в течение всего года, увеличивая потенциал выработки электроэнергии.

Рост доступности воды для ГЭС, как ожидается, продлится в течение нескольких десятилетий в большинстве областей. Однако, по мере того как ледники и ледовые купола будут сокращаться, объем талых вод уменьшится, тем снижая производство энергии.



### Гидроэнергетика Гренландии

Талая вода из Гренландского ледового щита используется для генерации гидроэлектроэнергии. ГЭС были построены в Нууке, Тасиилаке, Какортоке (Нарсаке) и Сизимиуте. Пятая ГЭС строится к северу от Илулиссата. Она будет поставлять возобновляемую энергию в зону Илулиссата.

В настоящее время 70 % энергии добывается в Гренландии из возобновляемых источников. Гидроэлектростанции вытеснили производство энергии на основе ископаемого топлива, в планах – строительство новых ГЭС.

Будущие станции могут генерировать достаточно энергии, чтобы обеспечивать выплавку алюминия из руды, привезенной судами из Австралии или Южной Америки.

Поскольку края Гренландского ледникового покрова меняют положение, сток талой воды может измениться так, что будет недостаточно воды у плотин. Эту потенциальную угрозу нужно учитывать, чтобы будущие ГЭС были экономически жизнеспособными.

## НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ РЕСУРСЫ

*Доступ к нефти, газу и другим полезным ископаемым стал проще, но многие проблемы в этих отраслях в Арктике остаются нерешенными.*

Добыча невозобновляемых ресурсов в Арктике ограничивается доступом к месторождениям и транспортировкой продукции. Потери морского льда и сокращение Гренландского ледового щита открывают доступ к месторождениям нефти, газа и других полезных ископаемых, которые ранее были труднодоступными. Однако сокращение зимников и рост рисков доставки создают новые проблемы для транспортировки продукции на рынок и для работ на нефтяных платформах в море.

### **Нефть и газ**

Сокращение морского льда и более длительный безледный период облегчает транспортировку от морских платформ баржами и танкерами. Разведка нефти и газа с помощью сейсмических методов с судов также облегчится. Также станет легче доступ к портам и некоторым береговым сооружениям нефтяного сектора. Однако, увеличение

волнового воздействия, штормовые нагоны и айсберги представляют серьезную опасность для морских платформ и связанного с ними флота. Эрозия берегов, где базируются многие нефтяные и газовые объекты, также, вероятно, увеличится.

Нефтегазовая добыча на суше зависит от протаивания вечной мерзлоты и разрушения зимников. Многие нефтяные объекты, в том числе здания, трубопроводы и дороги, построены на вечной мерзлоте. Они, скорее всего, будут страдать от ее деградации (см. раздел 4.4 и врезку). Более короткий сезон зимников ограничивает разведку и строительномонтажные работы (см. раздел 4.3).

Косвенное влияние изменений в криосфере на нефтяную отрасль связано с более строгими экологическими нормами, из-за того, что рыбы, морские млекопитающие и другие виды диких животных двигаются на север, в районы, где идет добыча нефти и газа. Нефтегазовой промышленности придется это учитывать, также как риски нефтяных разливов и расходы на реабилитацию после разливов, которые сопровождают повышенную активность в этой отрасли

### **Другие полезные ископаемые**

В то время, как сам процесс добычи полезных ископаемых вряд ли будут затронут изменениями в криосфере, другие его составляющие – перевозка



продукции и утилизация отходов – зависят от состояния криосферы.

Прибрежная горнодобывающая промышленность, скорее всего, выиграет от более легкой морской транспортировки руды из мест добычи. Добыча обычно следует



© B&C.Alexander / ArcticPhoto



© www.gazprom.com

сезонному циклу: в зимнее время руда добывается, обогащается и хранится, а вывозится в летнее время, когда открываются морские пути.

Тающий морской лед обеспечит более длительное окно для транспортировки. Но путь для наземного транспорта к отдаленным шахтам станет сложнее. Зимники будут функционировать в течение более короткого периода, дороги, построенные на вечной мерзлоте, требуют большего внимания к поддержанию, в случае ее оттаивания (см. раздел 4.3). Примеры дорог в зоне особого риска – это зимник Тиббитт к Коатвойто в северной Канаде и 360-километровый зимник на Чукотке. Обе дороги открыты каждый год только в течение коротких периодов в холодные месяцы, но они необходимы для перевозки тысяч тонн руды из шахт.

Добывающим компаниям нужно будет найти альтернативные способы хранения отходов. В прошлом на некоторых шахтах полагались на вечномерзлый грунт, предотвращающий попадание загрязнений в окружающую среду. Теперь, поскольку грунт начинает оттаивать, добывающие операторы должны будут инвестировать в структуры, которые смогут хранить отходы.

### Воздействие на нефтепроводы

В России трубопроводы, построенные на земле, восприимчивы к процессам, связанным с таянием вечной мерзлоты и "пучением", когда лед образуется под их основанием, постепенно выталкивая его наверх. Было подсчитано, что из-за таяния вечной мерзлоты ежегодно происходит около 7000 аварий трубопроводов в Западной Сибири. Нефтепроводы на Аляске и в Канаде менее вероятно пострадают от таяния вечной мерзлоты. Однако, для поддержания их в работоспособном состоянии в этих условиях могут потребоваться более интенсивные ремонтные работы.



© Rolf Hicker



## 4.3 ИЗМЕНЕНИЯ В ДОСТУПНОСТИ

*Изменение в доступности — это неизбежное следствие изменений криосферы и, вероятно, наиболее важный фактор для живущих в Арктике людей. Некоторые районы будут более доступными, например, области, ранее покрытые морским льдом, в то время как зимники станут менее доступны. Деятельность человека затрагивается в различных формах: некоторые люди и компании выиграют от изменений в криосфере, другие проиграют.*

### Расширение доступа по морю

Арктика становится все более доступной по морю, так как морской лед тает, создавая летом большие районы открытой воды на более длительные сроки. Трансарктические судоходные маршруты открываются между Тихим и Атлантическим океанами (см. раздел 5.3 – в глобальном контексте). Однако, относительно малая глубина моря вдоль побережья Сибири ограничивает размер судов, сокращая возможности для судоходства в этом районе.

В настоящее время, наиболее интенсивно идет доставка грузов в порты или из портов в самой Арктике. Увеличение судоходства даст преимущества промышленности, в частности, нефти, газу и горнодобывающей отрасли (см. раздел 4.2). Жители побережья Арктики, скорее всего, выиграют от расширения доступа по морю, поскольку завозы необходимых вещей будут осуществляться более легко – судами и в течение более длительного сезона. Сокращение морского льда также улучшит доступ к промысловым

рыбным районам для судов, увеличит вылов и доходы.

Круизный туризм растет, чему способствует облегчение прохода судов через районы, где морской лед сократился. Однако круизные суда не дают всех выгод жителям Арктики, так как пассажиры часто остаются на судах на протяжении всего маршрута. Особым вопросом в связи с круизными судами является ограниченность служб поиска и спасения в Арктике. Если большое судно оказывается в беде, местные жители не имеют средств для оказания помощи.

Увеличение судоходства также создаст новые проблемы. Риск инцидентов, таких как разливы нефти с танкеров, увеличивается, поскольку все больше танкеров проходят через арктические воды. Когда ледоколы и суда пробивают каналы через морской ледяной покров они разрушают места обитания животных и уничтожают маршруты местных поездок по морскому льду. Рост судоходства в связи с потеплением также увеличивает риск вторжения новых видов в Арктику.



© B&amp;C Alexander / ArcticPhoto

### **Вызовы для судоходства**

Несмотря на то, что у судов расширяется возможности доступа к новым районам, они будут по-прежнему сталкиваться с опасностью встречи с айсбергами и дрейфующими морскими льдами. Количество айсбергов в арктических водах увеличилось, и с сокращением морского льда эти айсберги будут более мобильными. Айсберги представляют собой серьезную угрозу для судоходства, коммерческого рыболовства, сейсморазведки и нефтяных платформ.

Когда холодный воздух находится над обширными участками открытой воды, появившимися из-за таяния льдов летом, то формируется больше облаков и туманов. Это делает навигацию более сложной и может вызвать обледенение судов.

Поисково-спасательные службы должны расширить свою деятельность, так как количество судов, проходящих через Арктику, растет. Корабли и их экипажи должны быть надлежащим образом оборудованы и подготовлены, поскольку поисково-спасательные

службы могут прибыть с задержкой из-за огромных расстояний. Также возникнет повышенный спрос на сезонные ледокольные работы по очистке гаваней и морских путей, больше инвестиций потребуется в отношении судов и портов.

### **Путешествия по морскому льду**

Площадь, покрытая летом морским льдом, быстро уменьшается, и ледовая обстановка в морях становится непредсказуемой и опасной для путешественников. Традиционные знания о туристических маршрутах по льду становятся менее полезными, и опасения по поводу безопасности создают необходимость в новых технологиях, таких как спутниковые телефоны и GPS. Путешественники по льду должны действовать с большей осторожностью, а некоторые маршруты становятся невозможными, что делает отдельные общины более изолированными.

Например, в западной Канадской Арктике, уменьшение морского льда и наличие непредсказуемых туманов сделали прибрежные путешествия по морскому льду гораздо более

***В то время как Арктика открывается для судоходства, путешествовать по земле или по морскому льду становится все труднее.***

опасными, чем прежде. Для того чтобы справиться с этими сложностями, люди предпочитают путешествовать на катерах, но высокая стоимость топлива накладывает дополнительную нагрузку на семейный бюджет.

### **Поездки на суше**

В то время, как морские путешествия становятся легче, путешествия по суше становятся все более трудными. Ледовые переправы через реки и озера тают раньше и замерзают позже, сокращая период использования ледовых дорог. Дороги, построенные на вечной мерзлоте, более уязвимы к растрескиванию и проседанию, поскольку вечная мерзлота под ними оттаивает.

Хотя зимняя дорожная сеть используется только в течение нескольких месяцев в году, она имеет важное экономическое значение. Зимники используются для транспортировки миллионов тонн грузов к арктическим сообществам. Для некоторых они как спасательный круг, ведь дороги играют важную роль в общении удаленных общин друг с другом и с сообществами за пределами Арктики, способствуя как местной, так и международной торговле.

Ледовые дороги также важны для перевозки тяжелых грузов, топлива и оборудования как для горнодобывающих центров и промышленных объектов, так и для экспорта товаров (см раздел 4.2). Даже относительно небольшие изменения в толщине льда или механической прочности могут иметь серьезные последствия для перевозки тяжелых грузов по замерзшим озерам и рекам.



© U.S. Coast Guard



### Альтернативы зимникам и дорогам по вечной мерзлоте

Поскольку перевозки по ледовым дорогам и вечной мерзлоте становится все труднее, речной транспорт, вероятно, увеличит свой вес. Реки будут судоходными большее количество дней в году, и объем грузоперевозок возрастет. В некоторых районах Российской Арктики водные пути уже настолько коммерчески важны, что к ним были подключены атомные ледоколы для расширения навигационного периода. На реке Маккензи в Канаде снижение сезона зимников от девяти до шести недель может привести к увеличению на 50 % использования речного транспорта.

Для районов без выхода к морю единственным возможным вариантом для перевозки тяжелых грузов станут железные дороги или наземные всепогодные дороги. Строительство таких дорог является очень дорогим и расходы, вероятно, в будущем сильно возрастут.

### Потеря дорожной сети по озерному и речному льду

По сети зимников по замерзшим болотам, озерам и рекам в канадской провинции Манитоба, как правило, осуществляется более 2500 завозов каждый год для более чем 30 тысяч коренных жителей. Мягкая погода зимой 2009/10 гг. стала препятствием для многочисленных транспортных компаний и местных водителей из-за растаявших зимников и привела к закрытию 2200 км дорожной сети. В итоге чрезвычайное положение было объявлено в одиннадцати общинах, как реакция на уменьшение поставок для строительства, рост цен на продовольствие и топливо и связанный с этим рост безработицы. Адаптация и поддержание дорожных сетей для предотвращения таких ситуаций возможны, но скорость и масштаб изменений делает это очень сложным и дорогим. По данным правительства провинции Манитоба, с 2001 г. примерно 600 км дорожной сети зимников было перенесено на землю, а расходы на зимники в провинции утроилось с 1999 г.

### Прогнозируемое изменение в доступности для морского и наземного транспорта к середине века

Октябрь



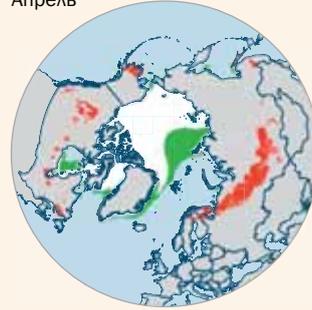
Январь



Июль



Апрель



□ Нет доступа для легких ледоколов

■ Новые районы доступа для легких ледоколов

■ Невозможно использовать зимники для транспортных средств свыше 2 тонн



## 4.4 ИЗМЕНЕНИЕ РИСКОВ ДЛЯ ЗДАНИЙ И УЧАСТКОВ СУШИ

*Таяние вечной мерзлоты, изменение режима снегопадов и динамики льда, будут влиять на здания и другие сооружения, которые имеют большое значение для жизни человека в Арктике. В большинстве случаев, существуют соответствующие инженерные решения, но они дороги. В районах, где вечная мерзлота наиболее быстро оттаивает, экономически эффективные решения найти трудно. Неопределенность, связанная с прогнозами изменений, также увеличивает стоимость новых строительных проектов в Арктике.*

В Арктике много людей живет в районах вечной мерзлоты. Здания, в которых они живут и работают, и сооружения, от которых их сообщества зависят, стоят на мерзлой земле. Даже некоторые крупные города с населением от 50 до 200 тыс. жителей построены на вечной мерзлоте.

Когда она оттаивает, земля становится мягче и часто меняет форму. Здания и другие конструкции – мосты, дамбы, трубопроводы, очистные сооружения – подвергаются риску, поскольку их фундаменты становятся менее устойчивыми. Они могут погружаться дальше в грунт, или наклоняться из-за того, что одна часть проседает больше, чем другая. Трещины могут также образовываться из-за различия скорости проседания разных частей сооружений. Конструкции, ослабленные этими процессами, требуют большего ухода, который часто является дорогостоящим.

В отдельных случаях здания становятся непригодными для жилья. Разрабатываются новые методы проектирования, которые принимают во внимание и вероятность изменений и последствия разрушения конструкции. Например, если трубопровод строится в районе, где вечная мерзлота уже тает, большое внимание уделяется тому, чтобы он мог функционировать даже после полного оттаивания, чтобы предотвратить риск загрязнения вследствие разрывов.

### Термокарст

Термокарст это тип ландшафта, который образуется, когда части грунта проседают из-за оттаивания подземных льдов. Термокарстовые ландшафты увеличиваются в некоторых частях Арктики. Когда это явление происходит в больших и малых городах, оно может вызвать существенные повреждения. Например, в 2006 г., несколько машин упали в огромный термокарстовый кратер, который образовался под автостоянкой в г. Якутске, Россия.

### Увеличение снеговых нагрузок на здания

Количество снега, выпадающего на землю и на здания, по прогнозам, увеличится в большей части Арктики, наиболее сильно – в Сибири. Возросшие снеговые нагрузки могут привести к повреждению зданий. В снежную зиму 2007–2008 гг. в Квебеке, несколько человек погибли при разрушении зданий. Сооружения, как правило, рассчитаны на снеговые нагрузки на основе значений максимальной глубины снежного покрова в предыдущие годы. При проектировании сооружений необходимо принимать во внимание возможное увеличение мощности снежного покрова. В Канаде и других странах расчеты снеговых нагрузок пересматриваются и обновляются для учета этих изменений.

### Риск наводнений

Наводнения, вызванные весной ледяными заторами на реках, изменились по частоте и размеру. На восточносибирских реках наметилась тенденция к более сильным наводнениям. Например, город Ленск вынуждены были восстанавливать после катастрофического наводнения реки Лена в 2001 г.

Могут случаться ливневые паводки и селевые потоки из-за того, что ледники отступают, освобождая воду из озер, образованных ледовыми плотинами, или из подледниковых

### Причины разрушений зданий: изменение климата или плохой дизайн?

Неудачное проектирование было объявлено причиной разрушения зданий и других сооружений в Арктике. Последние данные указывают, что в некоторых случаях таяние вечной мерзлоты в результате более высоких температур является главной причиной деформации зданий. Дизайн многих существующих зданий основывался на предположении, что земля останется в замороженном состоянии. В районах, где сейчас мерзлота постоянно тает, срок службы таких зданий будет короче.



© B&amp;G Alexander / ArcticPhoto

Сокращение морского льда в последние годы привело к увеличению ущерба зданиям из-за штормов в прибрежном поселке Уэлен, Чукотка, Россия

озер. Эта особенно опасно в вулканических областях, таких, как Исландия, Аляска и Камчатка. Отступающие ледники могут привести к увеличению этих прорывных наводнений; несколько потенциально опасных ледниковых озер были зарегистрированы в Норвегии и Канаде.

#### **Опасности, вызванные движением морского льда**

Воздействие ветра на морской лед часто вызывает навалы льда на берег, иногда на расстояние более ста метров от уреза воды. Хотя такие события редки, но они очень опасны, поскольку навалы образуются неожиданно и быстро, менее чем за час. Они могут причинить значительный ущерб зданиям и другим прибрежным сооружениям и привести к травмам или смерти людей. Такие явления будут происходить чаще в случае более

тонкого морского льда. Несмотря на сокращение ледового сезона, ледовые навалы остаются опасностью для прибрежных районов.

#### **Береговая эрозия**

Эрозия является растущей проблемой для арктических побережий. 65% береговой линии состоит из сыпучих материалов, скрепляемых с помощью льда внутри или на поверхности. Когда этот лед тает грунт легко разрушается. Припай также защищает побережье от эрозии, предотвращая разрушение грунта из-за волн и штормов. Поскольку безледный период увеличивается, береговая линия дольше остается незащищенной. Результатом является быстрое разрушение берегов в некоторых областях, в основном побережий морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Эрозией будут также затронуты части береговой линии Аляски и Канады.

Прибрежные здания, дороги и другие сооружения находятся в опасности затопления или могут быть смыты штормовыми волнами. В некоторых районах местным общинам не оставалось выбора кроме переезда на новые места. Около 30 поселений коренных народов Аляски были определены как находящиеся под непосредственной угрозой наводнений и эрозии. Некоторые из них изучают варианты переселения, в четырех случаях они должны переехать в срочном порядке. Эти случаи связаны с необходимостью привлечения государства. В частности, существует потребность в государственных учреждениях, которые будут иметь право переселять общины, оказывать финансовую помощь и помогать общинам выбирать новые места.



© Ryerson Clark / iStockphoto

*Здания и другие сооружения в Арктике находятся в опасности в результате таяния вечной мерзлоты, роста снеговых нагрузок, наводнений и эрозии.*

## 4.5 ИЗМЕНЕНИЕ В ПЕРЕНОСАХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

*Изменения в снежном покрове, морском льде и вечной мерзлоте влияют на то, как загрязняющие вещества проникают в Арктику, покидают ее и перемещаются внутри Арктики.*

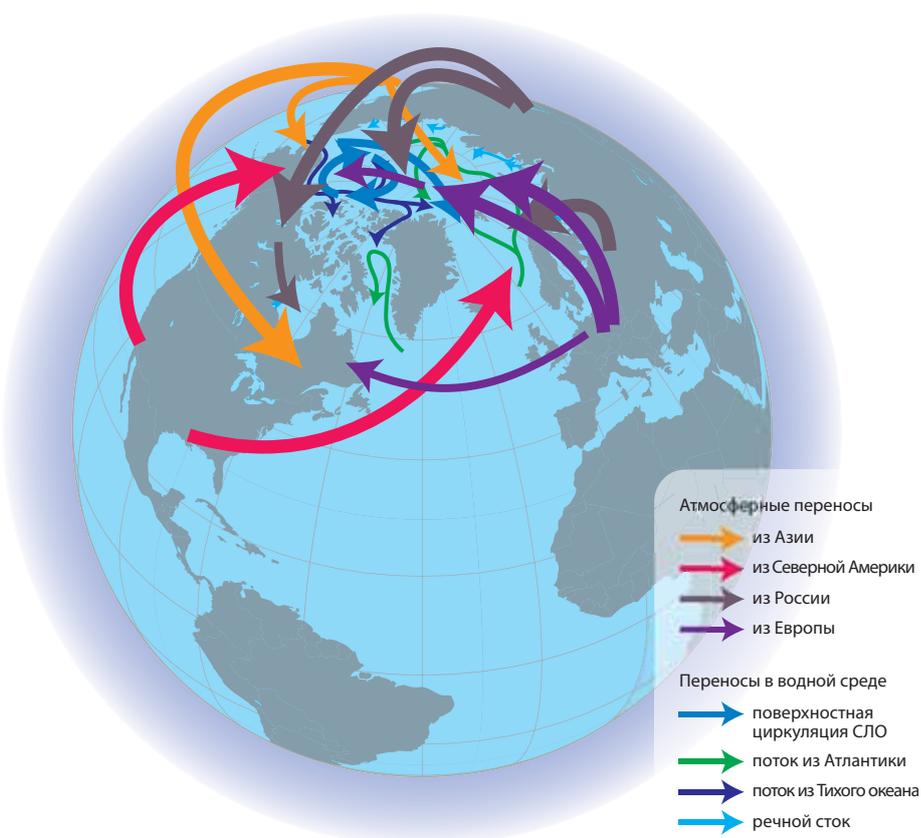
### Загрязняющие вещества от деятельности за пределами Арктики

Загрязнители, обнаруженные в Арктике, включают в себя тяжелые металлы, радиоактивные соединения, черный углерод (сажа от пожаров и промышленной деятельности) и искусственные химические вещества, известные как стойкие органические загрязнители, которые остаются устойчивыми в окружающей среде длительное время. Большинство из них это результат деятельности человека за пределами региона. Они переносятся на север воздушными потоками и океаническими течениями. Проникнув в Арктику, многие загрязнения остаются в поверхностных слоях почвы, в воде, льде и донных отложениях

### Загрязняющие вещества в результате деятельности в Арктике

В районах вечной мерзлоты сама мерзлота была использована для захоронения отходов, таких как сточные воды, мусор и отходы от добычи нефти и полезных ископаемых. Когда вечная мерзлота оттаивает загрязнения могут быть смыты в грунтовые воды, реки и, в конечном счете, в моря. В Канаде были обнаружены протечки в некоторых из трехсот – четырехсот отстойников бурового раствора от разведки нефти и газа.

Доставка грузов судами, эксплуатация ресурсов, промышленная деятельность и туризм растут в Арктике, как реакция на сокращение морского льда летом в Северном Ледовитом океане. Они увеличивают риски дополнительного загрязнения от химикатов против обрастания судов и от судовых выхлопных газов. Риск столкновений, вероятно, увеличится, поскольку все больше судов проходят через Арктику, и это может привести к разливам нефти из танкеров. Пока нет эффективных средств ликвидации разливов нефти в разрушенном ледяном покрове. Ликвидация таких разливов зимой в настоящее время невозможна из-за короткого светлого времени и суровых погодных условий.



*Загрязняющие вещества из основных источников в средних широтах северного полушария переносятся в Арктику господствующими ветрами и океанскими течениями.*





© BMJ / Shutterstock.com

У полярных медведей в Гудзоновом заливе были обнаружены высокие уровни стойких органических загрязнителей (СОЗ) в годы раннего разрушения льда, когда они охотятся на тюленей, и в первую очередь, на тех, что живут ближе к берегу (их стада также имеют более высокие уровни СОЗ).

**Загрязняющие вещества, которые были отложены много лет назад, могут вновь попасть в окружающую среду, если содержащие их снег и лед растают.**

### **Загрязняющие вещества двигаются по-разному**

То, как загрязнения будут переноситься в Арктику, из нее и внутри нее зависит от изменений в криосфере. Существуют различные способы переносов загрязнений.

*Переносы между воздухом и морем.* Морской лед образует барьер между морской водой и воздухом, тем самым предотвращая испарение некоторых загрязнений в воздух и служа препятствием для попадания в море других загрязнителей. Когда морской лед тает этот барьер исчезает и потенциал для обмена загрязняющих веществ между

морем и воздухом увеличивается. Вдоль побережья Шпицбергена, сокращение постоянного ледового покрова в проливе Фрама способствовало испарению зимой из морской воды такому веществу, как гексахлорбензол (ГХБ).

*Переносы в пищевых цепях.* Ртуть и многие органические загрязнители накапливаются в животных, откладываясь в жировых тканях. Если животное съедено другим животным, загрязнения переносятся вверх по пищевой цепи и становятся более концентрированными. Хищники на вершине цепи, такие как тюлени, белые медведи, люди и морские птицы подвергаются очень высоким

концентрациям, что угрожает их здоровью. Такие изменения в криосфере, как исчезновение морского льда, могут привести к более интенсивному воздействию загрязнителей.

*Высвобождение загрязняющих веществ из снега, льда и вечной мерзлоты.* Загрязнители могут быть законсервированы снегом, льдом и вечной мерзлотой на месяцы и годы. Загрязнители, в том числе черный углерод и свинец, попавшие в ледники и ледяные шапки, остаются в них в течение столетий или тысячелетий. Когда снег, лед или вечная мерзлота тают, эти загрязняющие вещества возвращаются обратно в окружающую среду.



© Steven Kazłowski / Science Faction / Corbis

### **ПОЯСНЕНИЕ ТЕРМИНОВ**

#### **Стойкие органические загрязнители (СОЗ)**

Стойкие органические загрязнители устойчивы к расщеплению биологическими и химическими процессами или к воздействию света и ультрафиолетового излучения. Они сохраняются в окружающей среде в течение длительного времени и могут переноситься на большие расстояния, либо по воздуху, либо по воде. К СОЗ относятся промышленные химические вещества, такие как ПХБ (полихлорированные бифенилы) и органические пестициды, включая ДДТ и линдан (гексахлорциклогексан или ГХЦГ).

Береговая эрозия размывает бывшую свалку, возможно, содержащую токсичные ПХБ, остров Бартер, Аляска.



© Steven Kazlowski / Science Faction / Corbis



© B&amp;C Alexander / ArcticPhoto

## ИЗМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ ЖИЗНИ В АРКТИКЕ

*Изменения в криосфере могут существенно изменить средства к существованию и условия жизни в Арктике. Неопределенным остается вопрос — как изменения криосферы повлияют на арктические сообщества и качество жизни населения Арктики и когда последствия начнут ощущаться. Проблемы коренных народов требуют особого внимания в этом отношении.*



© B&amp;C Alexander / ArcticPhoto

## *Изменения в криосфере приведут к изменениям многих аспектов жизни человека и общества.*

### **Экономические возможности и вызовы**

Изменение условий в Арктике приносит как экономические возможности, так и проблемы. Средства к существованию, основанные на биоресурсах могут пострадать. На животных и растения непосредственно влияет повышение температуры, оттаивание мерзлых почв и изменения состояния снега и льда. Промысловая деятельность также усложнится из-за криосферных изменений. Новые возможности, такие как расширение судоходства, добычи полезных ископаемых и круизного туризма, как ожидается, получат компании, базирующиеся, в основном, за пределами Арктики. Туризм может принести преимущества для местных жителей в некоторых областях (см. врезку).

### **Проблемы коренных народов**

Для многих коренных общин не просто сохранить свой образ жизни, как из-за изменений в окружающей среде, так и из-за притока населения и индустриализации. Коренные общины, живущие в самых северных районах, испытывают экстремальные изменения окружающей среды.

Традиционные знания и навыки, связанные с рыболовством и охотой на льду, продолжают развиваться. Но обеспечить передачу знаний молодому поколению по мере изменения образа жизни становится сложнее. Некоторые аспекты традиционных знаний уже менее применимы, так как криосфера и другие компоненты арктической системы меняются быстрее и становятся менее предсказуемыми.

### **Риски для здоровья из-за меняющейся криосферы**

Изменения криосферы могут увеличить риск пищевого отравления в некоторых регионах, потому что круглогодичное хранение пищевых продуктов на ледниках в мерзлоте уже невозможно. Болезни, связанные с питьевой водой, также будут шире распространяться, если канализационные трубы будут повреждены из-за оттаивания вечной мерзлоты или во время паводков.

### **Туризм – новые возможности для существования**

Туризм растет, так как становится проще добраться до Арктики – в значительной степени из-за таяния морского льда и более легкого доступа для судов. Туристская отрасль создает новые экономические возможности для общин и жителей, которые сопровождают туристов на охоту и рыбалку, обеспечивают питание и проживание и производят и продают ремесленные изделия. Круизный туризм также расширяется (см. раздел 4.3).

Многие туристы приезжают, чтобы увидеть арктические ледники и стать свидетелями воздействия изменения климата, так как ледники отступают, морской лед тает, а снежный покров уменьшается. Илулиссат стал ведущим туристическим направлением в Гренландии – люди приезжают, чтобы увидеть движение льда в ледниковом фьорде Илулиссат (Сермек Куйаллек – на гренландском), который теперь в списке Всемирного наследия ЮНЕСКО. На Аляске туризм создал 39 тыс. рабочих мест и более 1,15 млрд долларов США заработной платы и пособий, способствуя ежегодному росту экономики.

Но исчезновение снега и льда угрожает достопримечательностям. Дикие животные и пейзажи – то, что туристы ожидают увидеть, – уже потеряны в некоторых областях Арктики. В частности, имеет место снижение таких знаковых видов, как белый медведь, и быстрое отступление горных ледников в национальных парках Аляски и в Канаде. Развитие туризма также принесет негативные изменения в Арктике – загрязнения от круизных судов, нашествие тысяч пассажиров, приезжающих на короткое время в небольшие населенные пункты, и нагрузка на ландшафты и дикую живую природу.

**ЧАСТЬ 5:****ПОЧЕМУ ИЗМЕНЕНИЯ,  
ПРОИСХОДЯЩИЕ В АРКТИКЕ,  
ИМЕЮТ ГЛОБАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ**

*Изменения в криосфере первоначально проявятся в Арктике, как было отмечено в предыдущем разделе. Последствия изменения в криосфере будут также проявляться в глобальном масштабе на более длинных временных интервалах через воздействие на глобальный климат и уровень Мирового океана. Продолжающийся рост уровня моря увеличит риск наводнений для миллионов людей во всем мире.*

**Изменения в криосфере Арктики оказывают воздействие на глобальный климат**

- Исчезновение белого снега и льда ускорит потепление, так как поверхность планеты станет темнее и станет поглощать больше солнечного тепла. Этот механизм обратной связи, видимо, наблюдается везде в океане с отступлением морского льда
- Общие эмиссии парниковых газов метана и диоксида углерода в Арктике могут существенно возрасти из-за нагревания почвы и водоемов, а также изменений объемов вечной мерзлоты на суше и под водой морей.
- Общее количество пресной воды, поступающей в Северный Ледовитый океан, возрастает. Возросший поток пресной воды может изменить крупномасштабные океанические течения, которые оказывают влияние на климат в континентальном масштабе.

**Таяние льда на суше Арктики вносит вклад в рост уровня моря**

- Вклад в рост уровня моря вследствие потери льда ледниками Арктики, ледовыми щитами и Гренландским ледниковым щитом превысил 50 % в повышении уровня Мирового океана в период 2003–2008 гг.
- Большая неопределенность сопровождает оценки будущего повышения уровня Мирового океана. Самые последние модели предсказывают рост к 2100 г. на 0,9–1,6 м выше уровня 1990 г., со значительным вкладом арктического материкового льда.

**Последствия для мирового сообщества**

- Повышение уровня Мирового океана увеличивает риск наводнений для сотен миллионов человек, проживающих на побережье дельт и на невысоких островах во всем мире.
- Таяние морского льда открывает новые транспортные маршруты через Северный Ледовитый океан в летний сезон. Возросшие возможности для трансполярного коммерческого судоходства принесут пользу перевозкам и торговле.







© Lisa Taylor / Corbis

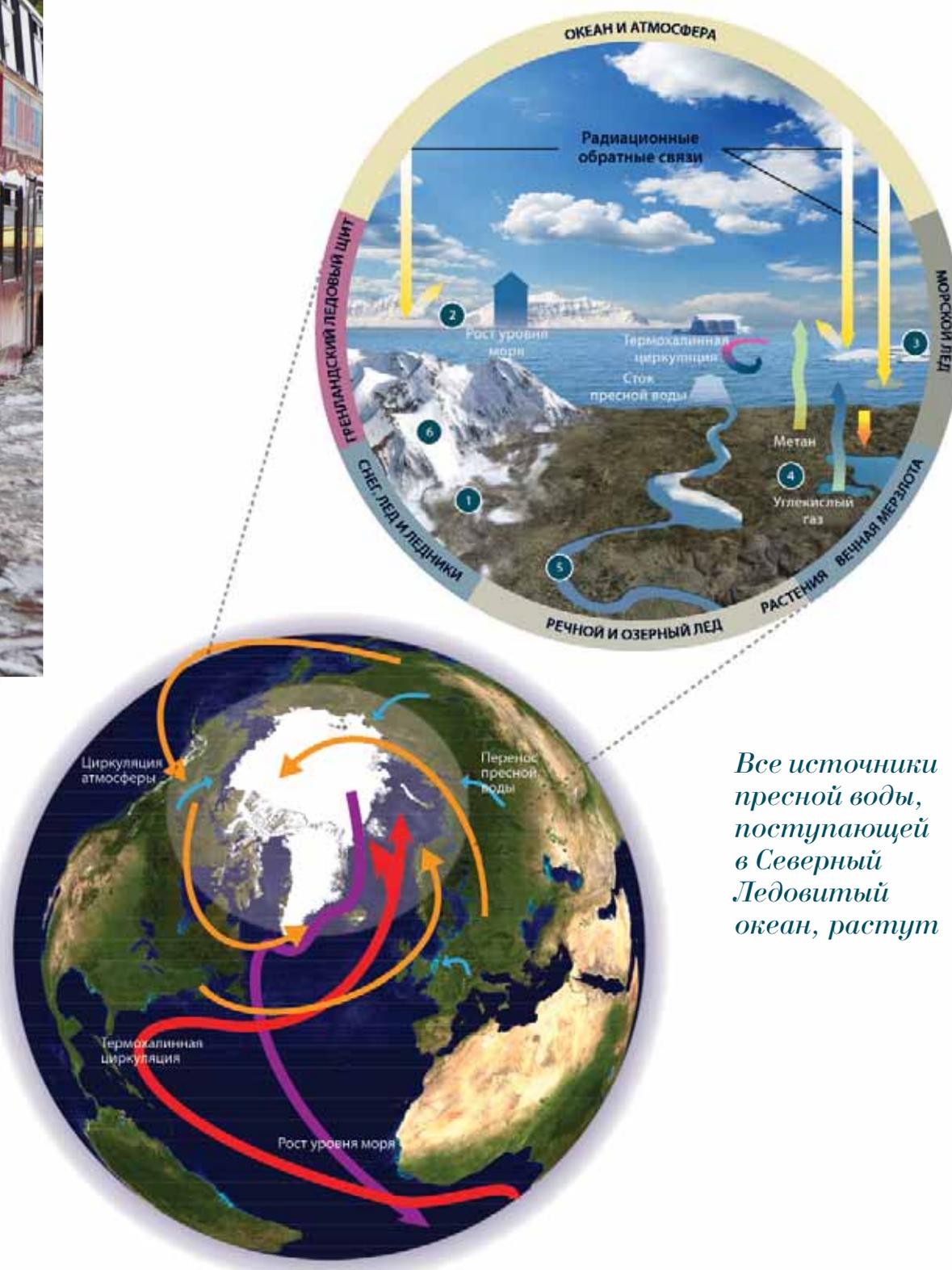


© Andrew Althison / In Pictures / Corbis

## 5.1 ИЗМЕНЕНИЯ КРИОСФЕРЫ АРКТИКИ ОКАЗЫВАЮТ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГЛОБАЛЬНЫЙ КЛИМАТ

*Арктика является важной частью климатической системы Земли. Изменения в количестве льда, снега и замерзшей почвы на севере может оказать значительное воздействие на климат в других районах мира.*

*Криосфера Арктики хранит воду в виде льда и снега и предохраняет огромное количество органической материи холодом от разложения. Когда лед и снег тают, дополнительная талая вода попадает в Северный Ледовитый океан. В то же время органическая материя, консервируемая в Арктике, начинает разлагаться, так как вечная мерзлота тает, что приводит к высоким эмиссиям метана в некоторых районах.*



*Все источники пресной воды, поступающей в Северный Ледовитый океан, растут*

### Воздействия и процессы

- 1 Таяние и отступление снежного покрова и более интенсивный рост кустарников увеличивают поглощение тепла, обратная радиационная связь.
- 2 Таяние крупных ледяных щитов дает вклад в рост уровня моря и поток пресной воды с потенциальным воздействием на термохалинную циркуляцию и глобальный климат.
- 3 Отступление морского льда способствует увеличению поглощения радиации (обратная связь "лед-альbedo") и росту потоков тепла и влаги в атмосферу.
- 4 По мере разрушения вечной мерзлоты может возрасти образование метана. С осушением болот могут увеличиться выбросы диоксида углерода, и атмосфера через некоторое время нагреется.
- 5 Увеличение осадков плюс таяние снега и льда вызовут рост речных потоков и изменят поток пресной воды.
- 6 Отступающие ледники сначала увеличат сток, но с уменьшением массы льда потоки уменьшатся.

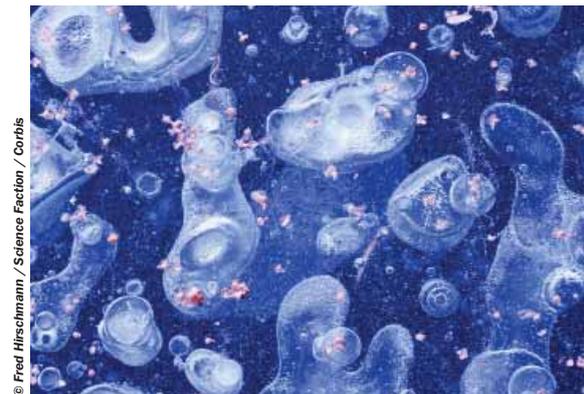
*Изменения, происходящие в криосфере Арктики, оказывают влияние в планетарном масштабе и на климат, и на уровень моря (см. раздел 5.2). Есть три основных пути, которыми изменения, происходящие в криосфере Арктики, могут оказывать воздействие на глобальный климат.*



© iStockphoto / Shutterstock.com

### 1 Потеря белой шапки Земли

Арктика оказывает охлаждающее воздействие, давая планете белую отражающую поверхность в высоких широтах, создаваемую снегом и льдом, покрывающим сушу и море. Она отражает в пространство больше солнечного тепла, чем темная поверхность. Потеря белого покрытия приведет к увеличению нагревания, что уже происходит. Примеры изменения температуры в нижней атмосфере с 2005 г. показывают, что этот эффект обратной связи уже наблюдается над морем. Температура растет быстрее там, где морской лед отступает (см. раздел 2.1). В случае суши модельные прогнозы показывают, что только вследствие изменения цвета поверхности потеря снежного покрова и более интенсивный рост кустарников могли бы увеличить температуру так же, как эффект удвоения количества углекислого газа в атмосфере.



© Fred Hirschmann / Science Faction / Corbis

### 2 Возрастающие эмиссии парниковых газов

По мере нагревания Арктики эмиссии углекислого газа и метана с суши и воды могут возрасти вследствие того, что процессы разложения будут идти быстрее при более высокой температуре (см. врезку на следующей стр.). Некоторая часть прироста эмиссии углекислого газа может изыматься растениями и водорослями в море путем поглощения и сохранения большего количества углекислого газа, так как они будут расти быстрее в более теплой Арктике.

*В прозрачном озерном льду видны замерзшие пузырьки метана, поднимающиеся со дна озера Люсиль, Аляска.*



© Dr. Marli Miller / Visuals Unlimited / Corbis

### 3 Изменяющиеся океанические течения

Когда пресная вода попадает в Северный Ледовитый океан из рек и тающего на суше льда, она не перемешивается с соленой морской водой, а локализуется вблизи поверхности и изолирует морской лед снизу от более теплой воды Тихого и Атлантического океанов. Все основные источники, поставляющие пресную воду в Северный Ледовитый океан, растут: сток рек, дождевые осадки и талая вода от льда на суше. Расчеты показывают, что дополнительные 7700 км<sup>3</sup> пресной воды – эквивалент одному метру воды над всей поверхностью суши Австралии – добавилось в Северный Ледовитый океан в последние годы. Неизвестно, что произойдет с этой пресной водой (см. раздел 6.2), однако, крупномасштабные океанические течения, такие как Атлантическая термохалинная циркуляция, приносящая теплую воду в северо-западную Европу, чувствительны к потокам пресной воды из Арктики, и могут воздействовать на климат и режим осадков в континентальном масштабе.

#### **Положительные обратные связи**

Первые два из этих климатических эффектов – уменьшение белизны и рост выбросов парниковых газов – примеры положительных обратных связей. Это значит, что первоначальное изменение вызывает эффекты, которые усиливают это изменение. Оба процесса могут усилить или ускорить изменение глобального климата.

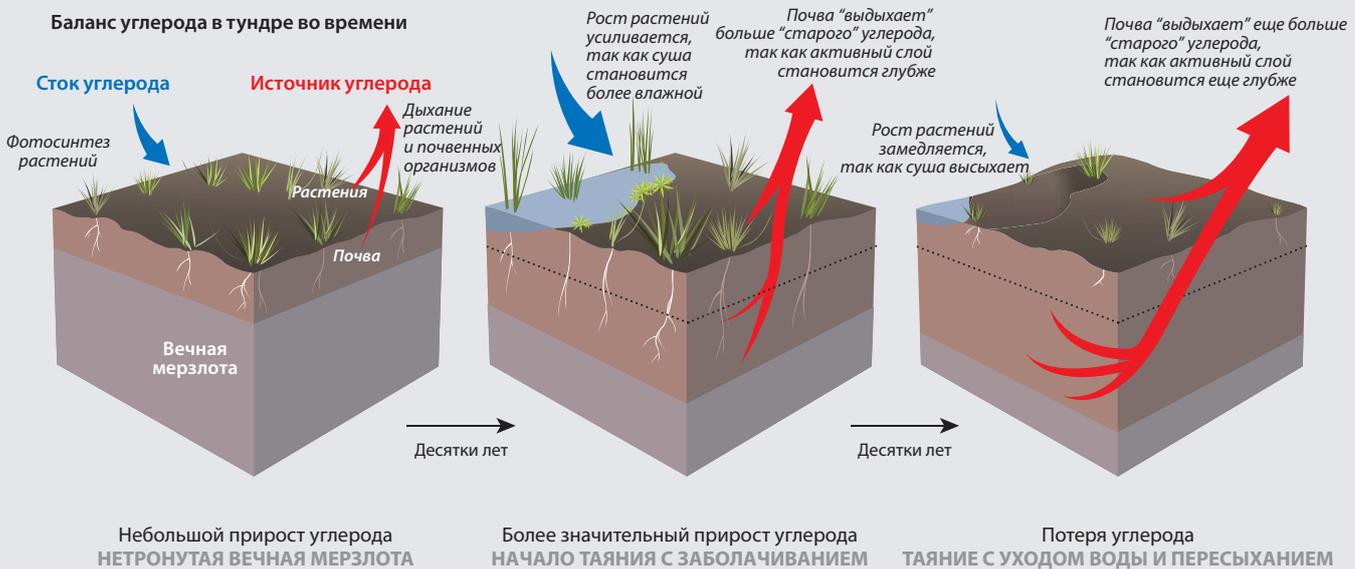
## МОЖЕТ ЛИ СТОК ПРЕВРАТИТЬСЯ В ИСТОЧНИК?

*Углекислый газ ( $CO_2$ ) и метан ( $CH_4$ ), два наиболее важных парниковых газа в настоящее время вызывающих нагревание планеты; оба образуются при разложении органического вещества.*

### Углекислый газ

В настоящее время арктическая суша медленно поглощает углекислый газ из атмосферы и сохраняет его в растительных тканях, которые постепенно становятся торфом или частью почвы. Этот процесс происходит на протяжении тысяч лет. Около 44 % мировых запасов углерода, содержащегося в поверхностных почвах, хранится в Арктике – примерно в два раза больше,

чем в атмосфере Земли. Если вечная мерзлота будет таять повсеместно в этом столетии или позже, значительное количество этого почвенного углерода преобразуется в углекислый газ, потенциально увеличивая его количество в атмосфере. Этот процесс может перевесить постепенное накопление углерода вследствие роста растений на суше и роста водорослей в воде.



### Methane

В условиях отсутствия кислорода, например, на дне озера или моря, разложение превращает органическое вещество в метан скорее, чем в углекислый газ на масштабах столетий.

Озера, пруды и болота в Арктике могут высвобождать метан и углекислый газ с большой скоростью при соответствующих условиях.

Уменьшение льда на озерах, как известно, увеличивает образование метана. Большие выбросы метана из районов

вечной мерзлоты были впервые зарегистрированы осенью 2007 г. в северо-восточной Гренландии, а растаявшие озера Сибири известны как главные точки образования метана.

Будущие скорости поступления метана от болот Арктики и тающей вечной мерзлоты прогнозировать трудно, так как неизвестно, будет ли больше образовываться болот и озер вследствие таяния насыщенной льдом вечной мерзлоты или меньше вследствие более сухого лета.

Большие количества метана сохраняются в подводных слоях вечной мерзлоты в виде метаногидратов. В последние три года были обнаружены высокие уровни метана, поступающего со дна моря Лаптевых в виде струй, бьющих вверх в атмосферу на высоту до 1800 м. Этот метан сохранялся с конца последней ледниковой эпохи, когда начался рост уровня моря. Выполнены расчеты, показывающие, что высвобождение только 1 % метана, согласно оценкам, находящегося в вечной мерзлоте ниже дна восточносибирского шельфа, вызовет эффект потепления, эквивалентный удвоению углекислого газа в атмосфере.



Метаногидраты – это вода и метан, соединившиеся при низкой температуре и высоком давлении. Это замороженное, кристаллическое вещество, которое похоже на лед, но легко загорается, если его пожесть спичкой.



© Ralph Lee Hopkins / National Geographic Society / Corbis

## 5.2 ТАЯНИЕ АРКТИЧЕСКОГО МАТЕРИКОВОГО ЛЬДА ВНОСИТ ВКЛАД В РОСТ УРОВНЯ МОРЯ

### Как мы узнаем, что уровень моря повышается?

Уровень Мирового океана измеряют со спутников и на береговых станциях. Вклад от теплового расширения воды выявить сложно. Однако, новая сеть автономного отбора проб в Мировом океане сделала возможными такие измерения. Вклад в рост уровня моря от тающих ледников и ледовых куполов оценивается исходя из количества потерянного льда в виде отколовшихся от ледников айсбергов и растаявшего на поверхности льда. Примерно 360 Гт растаявшего льда эквивалентно 1 мм роста уровня Мирового океана

### Арктика сейчас дает главный вклад в рост уровня Мирового океана.

Уровень Мирового океана повышается с середины 1800-х гг. на протяжении 1990-х гг. средняя скорость роста уровня моря увеличилась. Уровень Мирового океана сейчас повышается быстрее большинства прогнозов, представленных в Третьем и Четвертом оценочных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (опубликованных в 2001 г. и в 2007 г.).

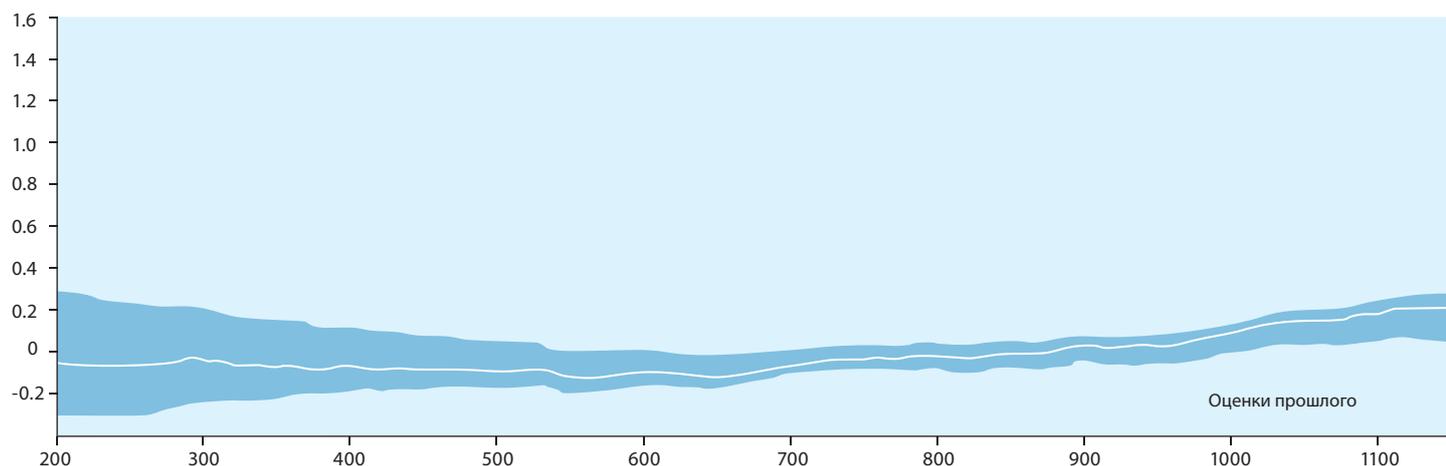
Два основных процесса отвечают за рост уровня моря. Первый – вода океана расширяется при нагревании

(“тепловое расширение”). Второй – когда лед суши тает и эта талая вода попадает в море, объем моря увеличивается.

### Вклад льда арктической суши в рост уровня моря

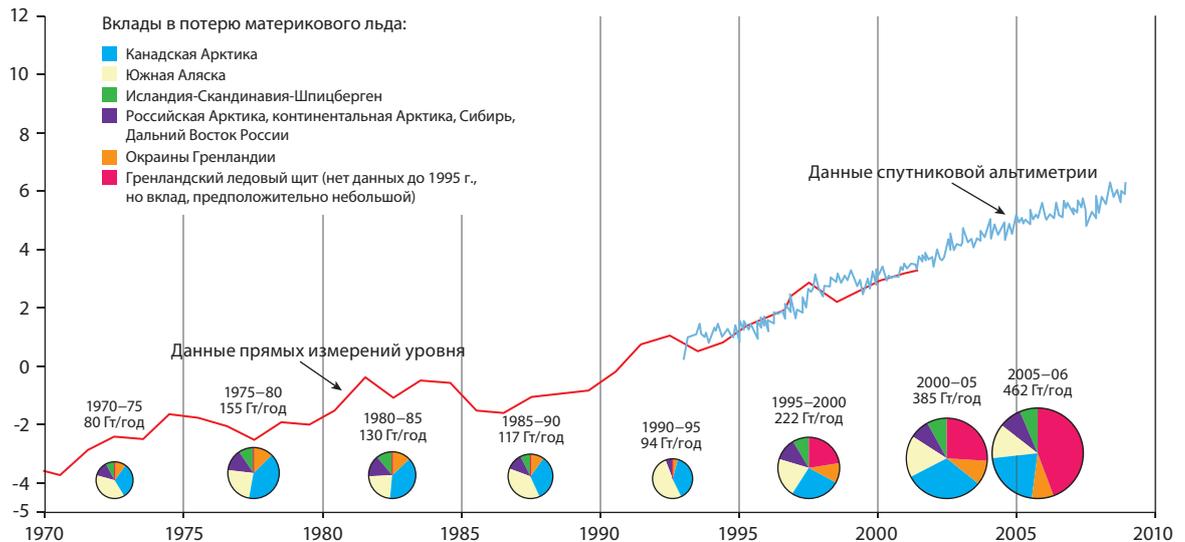
С 2003 по 2008 гг. уровень Мирового океана рос, в среднем, на 2,5 мм в год. Вклад от таяния льда арктической суши, включая Гренландский ледовый щит, составил 1,3 мм в год – больше половины (52 %) в общем повышении. Вклад теплового расширения океана составил 0,25 мм/год, и Антарктический ледовый щит добавил, согласно оценкам, 0,5 мм в год. Остальные источники роста уровня моря – это горные ледники в других частях света и изменяющееся количество резервуаров воды на суше.

Уровень моря относительно 2000 г., м



## Изменение уровня Мирового океана и потери материкового льда в Арктике

Уровень Мирового океана относительно среднего значения для периода 1970–2008 гг., см



### Вклад Гренландского ледового щита растет

С 1995 по 2000 г. Гренландский ледовый щит обеспечивал рост уровня Мирового океана на 0,14 мм в год – 5 % от общей величины. Однако, Гренландский ледовый щит сокращается с нарастающей скоростью, и его чистая потеря массы с тех пор возросла в четыре раза. Его вклад в рост уровня Мирового океана в 2005–2006 гг. составил 0,57 мм за год. Сейчас вклад в рост уровня Мирового океана Гренландского ледового щита составляет более 20 %.

### Рост уровня моря в будущем

Исходя из масштаба изменений, наблюдаемых в последние 20 лет, что можно предположить о будущем? Современные модели прогнозируют к 2100 г. рост уровня моря на величину от 0,79 до 2,01 м относительно уровня в 1990 г. Согласно оценкам, от 0,05 до 0,13 м обеспечат ледники Арктики, и 0,17 м – Гренландский ледовый щит.

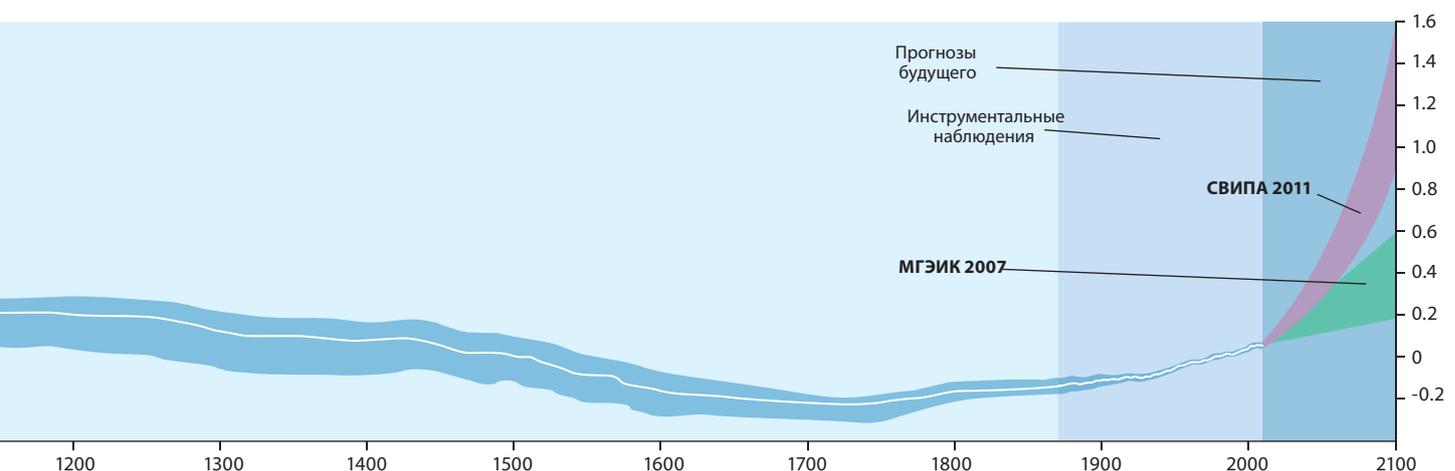
### В 2005–2006 гг. вклад в рост уровня Мирового океана Гренландского ледового щита составил более 20 %.

Однако эти прогнозы имеют очень большую степень неопределенности. Невозможно точно предсказать, как каждый отдельный ледовый купол, ледовый щит и ледник отреагируют на изменения глобального климата, и различные модели дают очень отличающиеся прогнозы. Оценка между 0,9 и 1,6 м роста уровня моря представляется наиболее правдоподобной.

Несмотря на эту неопределенность, все модели сходятся в прогнозах на том, что ледники Арктики и Гренландский ледовый щит будут продолжать вносить значительный вклад в рост уровня моря и в следующем столетии. Этот прогнозируемый рост уровня моря, как ожидается, приведет к серьезным последствиям для населения, проживающего в прибрежной зоне некоторых районов мира (см. раздел 5.3).

### Одинаково ли растет уровень моря по всему миру?

Уровень моря может расти в северном и южном полушарии с разной скоростью. Причина этого в том, что ледовые щиты Арктики и Антарктики достаточно огромны, чтобы оказывать гравитационное притяжение на воду, их окружающую. Когда они тают, а их масса уменьшается, это притяжение становится меньше, и вода уходит. Если материковый лед тает быстрее в Арктике, чем в Антарктике, то уровень моря будет повышаться больше в южном полушарии. Если Антарктический ледяной щит будет таять быстрее, чем материковый лед Арктики, то будет происходить обратное.





© Jashim Salam / Demotix/Demotix / Corbis

## 5.3 ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ МИРОВОГО СООБЩЕСТВА

*Изменения в криосфере Арктики будут иметь серьезные последствия для народов и экосистем других частей мира.*

Физические изменения, происходящие в криосфере, оказывают влияние на климат и погоду, и это, вероятно, будет оказывать влияние на человеческое общество за пределами Арктики в ближайшие десятилетия и столетия. Последствия роста уровня моря уже ощущаются в некоторых частях земного шара, в таких, как маленькие островные государства. Изменение криосферы также несет угрозу мировому биоразнообразию, так как отдельные виды, которые встречаются только в Арктике, находятся под угрозой.

Другое последствие изменения криосферы – рост доступности Северного Ледовитого океана. Судоходство по Северному Ледовитому океану будет способствовать добыче полезных ископаемых, торговле и туризму и может снизить потребление энергии и, тем самым, эмиссию

углекислого газа. В то же время рост доступности Северного Ледовитого океана приведет к росту загрязнений вод Арктики, что будет угрожать населению и живой природе.

### **Последствия роста уровня моря**

Рост уровня моря – одно из наиболее серьезных социальных последствий изменения криосферы. Около 200 миллионов человек живут в районах с высотой менее одного метра над уровнем моря, в низменных прибрежных районах, таких как дельта рек Ганг–Брахмапутра (Бангладеш), дельта Меконга (Вьетнам) и дельта Рейна (Нидерланды). Более высокий уровень моря и более частые штормовые приливы увеличивают риск наводнений в этих районах.

Рост уровня моря несет серьезную угрозу ряду небольших островных

государств, таких как Мальдивы в Индийском океане, Багамы в Карибском море и Тувалу в Тихом океане. Им грозит опасность быть полностью затопленными или оказаться перед лицом усиливающихся прибрежных наводнений. Процесс адаптации будет сложным во многих островных поселениях, а в некоторых районах вовсе неосуществимым.

Прогнозы роста уровня моря варьируются в зависимости от географического положения. В северо-восточной части США, восточном Китае и Японии уровень моря, согласно прогнозам, вырастет больше, чем в других районах мира, ставя крупные прибрежные города, такие как Шанхай и Нью-Йорк перед большой угрозой наводнений.

*В то время, как новые судоходные маршруты открывают глобальные возможности для торговли, рост уровня моря увеличивает риск наводнений в прибрежных районах во всем мире.*



### **Последствия для мирового судоходства и торговли**

Мировая экономическая активность может выиграть от изменения криосферы в Арктике. Таяние морского льда открывает Северный Ледовитый океан для судоходства на более длинный период каждое лето, предоставляя лучшие возможности для трансполярного коммерческого судоходства.

Новые судоходные маршруты могут способствовать снижению потребления энергии и сокращению выбросов парниковых газов и при этом развивать торговлю. Однако, выбросы в региональном масштабе возрастут.

Выросло число трансарктических летних путешествий, главным образом, с научными и туристическими целями. Два торговых судна недавно прошли Северным морским путем, который на 40 % короче, чем современные судоходные маршруты между Европой и Тихим океаном. Объем транспортных перевозок по этому маршруту, согласно прогнозам, возрастет до 12,8 млн тонн к 2020 г.

Развитие трансполярного коммерческого судоходства, вероятно, будет медленным. Возможно, это будет определяться экономическими факторами, такими как мировой спрос на энергетические ресурсы и цена на эти ресурсы. Судя, следующие этим маршрутом, будут по-прежнему подвергаться серьезной опасности (изменчивые погодные условия, дрейфующий морской лед и айсберги).

### **Последствия для мирового биоразнообразия**

Некоторые уникальные арктические виды, такие как нарвал и белый медведь, столкнулись с серьезной угрозой вследствие изменения криосферы. Исчезновение мест обитания, связанных с криосферой, таких как морской лед и болота, существующие поверх вечной мерзлоты, окажет воздействие на мигрирующие виды морских млекопитающих и птиц, живущих по всему миру. Эти побочные эффекты, влияющие на биоразнообразие, носят глобальный характер. Больше сведений о ситуации с арктическими видами можно найти, обратившись в Рабочую группу по сохранению флоры и фауны Арктики – Conservation of Arctic Flora and Fauna Working Group (CAFF).





## ЧАСТЬ 6:

# ЧТО ДОЛЖНО БЫТЬ СДЕЛАНО?

*Настоящий отчет до сих пор описывал, каким образом и почему криосфера меняется и как эти изменения влияют на экосистемы и людей. В этом разделе рассматривается то, что надо сделать для адаптации к этим изменениям, и какая информация еще необходима, чтобы понять, как криосфера изменится в будущем.*

### Адаптация к изменениям

- Каждый, кто живет, работает или занимается бизнесом в Арктике должны адаптироваться к изменениям криосферы.
- Арктические сообщества устойчивы и будут активно реагировать на изменения в криосфере. Тем не менее, быстрые темпы изменений могут опережать способность людей к адаптации.
- Адаптация требует руководства со стороны правительств и международных организаций, а также увеличение инвестиций в инфраструктуру.
- Знания и исследования необходимы, чтобы предвидеть, как изменятся условия жизни, и оценить возможные варианты адаптации.
- Изменения криосферы и климата происходят на фоне социальных изменений, что может быть еще более серьезным вызовом. Совокупное воздействие социальных, климатических и криосферных изменений должно быть учтено в стратегии адаптации.

### Большие неопределенности

- Остается много неопределенностей в вопросах скорости изменения криосферы Арктики и в том, какими будут конечные последствия этих изменений.
- Главные неопределенности связаны с взаимодействиями (обратными связями) между криосферой и другими частями климатической системы, которые могут значительно и непредсказуемо ускорить темпы изменений и их последствия.



© B&C Alexander / ArcticPhoto

## 6.1 ПРИСПОСОБЛЕНИЕ К ПЕРЕМЕНАМ

*Смягчение последствий глобального изменения климата, вероятно, займет десятилетия. Поэтому местным сообществам и бизнесу, а также транснациональным компаниям с коммерческими интересами в Арктике нужно будет адаптироваться к изменениям криосферы.*

### **Акцент на адаптацию**

Адаптация означает поиск методов, с помощью которых можно справиться с изменениями среды, смягчить изменения или получить выгоду от них. Адаптация к криосферным изменениям в Арктике необходима для поддержания хорошего качества жизни людей, для защиты средств существования и защиты окружающей среды.

На местном уровне изменения в криосфере влияют на людей быстро. Люди, общины и бизнес должны быть активно готовы к изменениям и сразу адаптироваться к ним. Адаптация к местным условиям уже происходит. Например, люди меняют свои маршруты, чтобы избежать областей таяния морского льда.

На региональном, национальном и международном уровнях адаптация потребует расширения сотрудничества,

а также усилий со стороны правительств и международных организаций, в виде новых законов и правил, а также увеличения объема инвестиций в инфраструктуру.

### **Что влияет на способность к адаптации?**

Коренные народы и другие жители Арктики приспособились к изменениям в окружающей среде, и продолжают делать это, несмотря на неопределенность в отношении будущего. Арктические жители не чужды инновациям и используют новые возможности, например, переходят на добычу рыбы на открытой воде, приглашают туристов и, осваивают новые технологии. Традиционные знания помогают обнаружить изменения среды и адаптироваться к ним. Однако, изменения происходят настолько быстро, что часто трудно идти с ними в ногу.

Изменения в криосфере происходят в сочетании с изменениями в обществе: рост добычи ресурсов, изменение численности населения, технологические новшества и глобализация. Вместе они производят каскадный эффект во всех



### Готовность к изменениям

Люди должны подготовиться к изменениям путем планирования и реализации мер по адаптации. Но неопределенность в отношении изменяющихся условий и доступности в будущем природных ресурсов затрудняет планирование.

Краткосрочные прогнозы на местном уровне необходимы, чтобы помочь жителям, сообществам, бизнесу и государственным учреждениям принимать решения о том, какие действия предпринять.

Контакты между местными жителями и учеными, занимающимися прогнозами будущих изменений, могут помочь специалистам давать прогнозы с учетом потребностей людей, живущих и работающих в Арктике. Традиционные знания и научные исследования могут быть объединены для совершенствования прогнозирования изменений, особенно на местном уровне. Однако, скорость изменений может затруднить необходимое обновление информации, также существуют большие неопределенности относительно временных и пространственных масштабов изменений.

На более высоком уровне, национальные межведомственные органы управления и международные организации, такие как Арктический совет, могут играть важную роль в содействии обмену знаниями между неправительственными организациями (например, организации коренных народов) и органами власти различного уровня (сельские советы, областные администрации). Эти организации должны работать вместе, чтобы лучше подготовиться к изменениям.

### Адаптация к криосферным изменениям на местном уровне

Некоторые действия, которые арктические сообщества могут предпринять:

- Переселить прибрежные деревни и предприятия дальше от берега, чтобы снизить риски, связанные с прибрежной эрозией.
- Спроектировать фундаменты зданий так, чтобы защититься от последствий таяния вечной мерзлоты. Например, можно использовать пассивные системы охлаждения для поддержания низкой температуры под зданиями.

арктических сообществах, определяя пути, благодаря которым люди могут адаптироваться и повышать гибкость к изменениям криосферы.

Например, оленеводы традиционно адаптировались к изменению снежного покрова путем изменения маршрутов миграции, но нефтепроводы и национальные границы в настоящее время создают препятствия в достижении некоторых пастбищ.

Адаптация часто не дешева: например, чтобы открыть рыбный промысел, необходимы морские катера и большие сети. Здания становятся дорогими, если они спроектированы так, чтобы справиться с таянием вечной мерзлоты или увеличением снеговых нагрузок. Транспортные расходы увеличиваются из-за длинных объездов участков растаявших зимников. Другие барьеры на пути адаптации – это утрата традиционных знаний среди молодых поколений, отсутствие образования, связанного с возникшими новыми отраслями и изменения в регулировании природопользования.



Смотритель парка инуитов приветствует туристов, прилетевших на вертолетах. Национальный парк Куттинирпаак, остров Элсмир, Канада.



© ULRIK BANG / epa / Corbis

## *Скоординированные усилия необходимы, чтобы дать возможность людям и экономике адаптироваться к изменениям.*

### **Управление изменениями**

Местные, региональные и национальные власти будут играть важную роль для арктических сообществ, управляя их реагированием на изменения в регионе.

Новая политика и формы управления необходимы для решения различных социальных, экономических и культурных проблем и рассмотрения возможностей, связанных с изменениями криосферы. Существующие механизмы управления также должны трансформироваться и адаптироваться. Представительство коренных народов в управляющих органах очень важно для того, чтобы их проблемы включались в обсуждение и принятие решений

### **Мониторинг изменений**

Изменения в криосфере должны быть под постоянным наблюдением, их необходимо оценивать для формирования стратегии адаптации к их последствиям. Например, по результатам недавней оценки риска схода лавин в Нунавике, Канада, некоторым домам было рекомендовано переселение, а также было указано на необходимость строительства защитных сооружений для уменьшения риска схода лавин в этом районе в будущем.

### **Необходимость регулирования**

Регулирование, введение новых правил будет необходимо для уменьшения конфликтов между бизнесом и местными общинами и жителями, для поддержания уровня

безопасности и уменьшения рисков для окружающей среды. Без надлежащих правил промышленного развития, коммерческого рыболовства, круизного туризма и судоходства, местные общины будут более уязвимыми.

Например, рыболовные и нефтегазовые предприятия уже в определенной степени конкурируют за место в море. Этот процесс будет продолжаться и, возможно, станет более острым в контексте изменений в криосфере. Регулирование этой деятельности необходимо, чтобы снизить риск аварий и загрязнения окружающей среды. Новые правила рыболовства станут необходимыми для предотвращения чрезмерного вылова рыбы и для возможности ведения промысла в новых областях, так как запасы рыбы и места лова меняются.

Поскольку больше судов находятся в Северном Ледовитом океане, новые стандарты будут необходимы для обеспечения безопасности судоходства и предотвращения ущерба морской среде. Международная морская организация разрабатывает новые обязательные правила для судов, работающих в покрытых льдом водах. Это будут первые международно признанные требования к конструкции и эксплуатации судов в арктических водах.

### **Права доступа к Северному Ледовитому океану**

Сокращение морского льда увеличило доступ судов в Северный Ледовитый

океан, что облегчило добычу нефти и газа и привело к необходимости определения того, кто и в каких районах имеет право добычи ресурсов. В Илулисатской декларации (май 2008 г.), пять арктических государств договорились, что Конвенция ООН по вопросам Морского права (1982 г., текущая версия 1994 г.) достаточна, чтобы обеспечить юридически обязательную основу для решения потенциальных территориальных споров. Это соглашение определяет основные территориальные границы прибрежных стран, и разделяет море на зоны, которые регулируются в отношении их эксплуатации.

Коренные народы Арктики также добиваются признания их коллективных прав в арктическом регионе. Они были единственными пользователями арктического морского льда и водных путей на протяжении тысяч лет, в том числе биологических и минеральных ресурсов. Поскольку промышленная деятельность и трансарктическое морское судоходство возрастают, правила будут необходимы для снижения конфликтов между традиционными и коммерческими пользователями. Декларация ООН о правах коренных народов (2007 г.) определяет индивидуальные и коллективные права коренных народов. Она должна быть использована в качестве основы для положений и процедур принятия решений, касающихся использования земли, моря и ресурсов

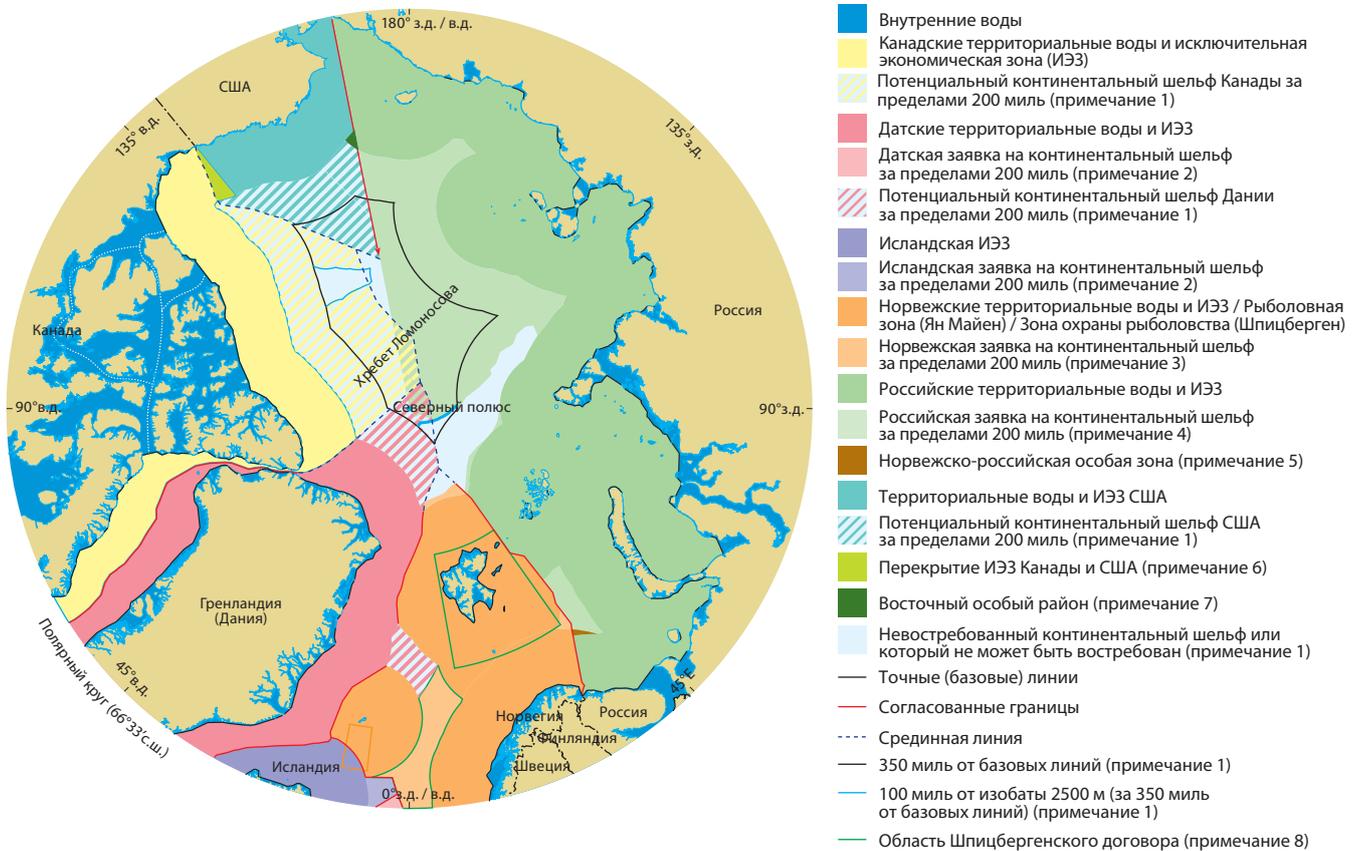


### Меры по предотвращению изменений в криосфере (смягчение)

Основная причина изменений криосферы – рост средней температуры – весьма вероятно, в соответствии с МГЭИК, вызвана увеличением выбросов антропогенных парниковых газов. Эти выбросы происходят, в основном, за пределами Арктики. Поэтому арктические сообщества могут играть лишь ограниченную роль в смягчении изменений криосферы. Тем не менее, необходимо осуществление политики сокращения выбросов парниковых газов как в Арктике, так и за ее пределами. Региональные меры по предотвращению изменения климата включают в себя контроль выбросов двуоксида углерода и других эмиссий в промышленности, судоходстве и при сжигании отходов.

Шкала действий	Необходимые действия
Локальный уровень	Устойчивое управление ресурсами и регулирование основных видов деятельности; адаптация местных сообществ к воздействию криосферных изменений.
Национальный уровень	Принятие соответствующих законов и разработка нормативно-правовой базы для обеспечения безопасных условий работы и адекватной охраны окружающей среды; инвестиции в инфраструктуру, в частности, новые автомобильные и железные дороги в районах, где сезон ледовых дорог становится все короче.
Международный уровень	Глобальные соглашения, регулирующие выбросы парниковых газов; установление международных стандартов деятельности, например, судоходства; сотрудничество в области укрепления возможностей поиска и спасения людей.

### Морская юрисдикция в Арктике



Подразделение исследования международных границ  
Университета Дарема.

Примечания доступны на <https://www.dur.ac.uk/ibru/resources/arctic/>

## 6.2 ГЛАВНЫЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

*Все еще остается много неопределенностей в вопросе о том, что будет происходить в Арктике, и как Арктика повлияет на остальной мир. Мы знаем, что не наблюдавшиеся ранее изменения происходят, но неизвестно, каковы будут конечные эффекты или последствия этих изменений и насколько быстро будет происходить изменения.*

*Главные вопросы, выявленные в ходе проекта СВИПА и оставшиеся без ответов:*



### **Что будет с Северным Ледовитым океаном и его экосистемами при добавлении пресной воды?**

Пресная вода в Северном Ледовитом океане образует слой между морским льдом и нижележащей более тяжелой, теплой и соленой водой. Эта система была стабильной в течение длительного времени, но теперь меняются два аспекта. Во-первых, больше пресной воды добавляется из-за таяния наземных льдов. Во-вторых, тает также морской лед, открывая поверхность океана ветру и солнцу. Неизвестно, как Северный Ледовитый океан будет реагировать на эти изменения.



### **Как быстро будет таять ледовый щит Гренландии?**

Вместо уменьшения неопределенности в вопросе о том, сколько льда теряет Гренландский ледовый щит, новые спутниковые измерения показали, что мы плохо понимаем динамику крупных ледниковых покровов. Самые большие изменения в массе, по-видимому, происходят по краям, где тающий лед попадает в море. Тщательный контактный мониторинг ледового щита Гренландии важен сейчас в сочетании с дальнейшим развитием климатических моделей, которые смогут описать условия вокруг Гренландии и то, как эти условия будут реагировать на изменения формы ледникового покрова.



### Как изменения в криосфере Арктики скажутся на глобальном климате?

Более 30 обратных связей уже были выявлены между криосферой Арктики и климатической системой Земли. Многие из них потенциально могут влиять на глобальное изменение климата. Некоторые способны значительно ускорить изменения и их последствия непредсказуемым образом. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы количественно оценить вклад отдельных обратных связей и определить, когда эти связи сработают и каков будет их общий эффект.



### Как изменения повлияют на арктические сообщества и экономику?

На сегодняшний день существует гораздо больше исследований изменений физических параметров криосферы и изменений экосистем Арктики, а также прогнозов их изменений в будущем, чем исследований того, как эти изменения повлияют на общество. Потенциальные социально-экономические последствия изменений во льдах, воде и экосистемах теперь должны быть проанализированы в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе. Такие знания необходимы, чтобы на их основе арктические сообщества и органы власти смогли принять правильные решения на будущее.

#### Необходимость постоянных контактных наблюдений

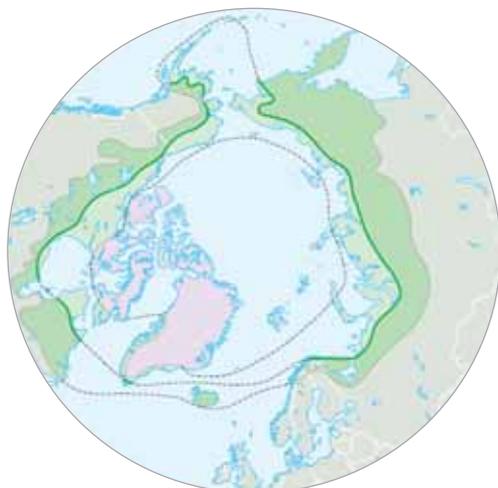
Съемки Земли со спутников и другие методы дистанционного зондирования значительно улучшили наши представления о крупномасштабных изменениях в Арктике. Но некоторые особенности криосферы необходимо измерять напрямую на местах, контактно. Имеются в виду параметры, которые трудно точно измерить из космоса, такие как глубина снега, количество твердых и жидких осадков и параметры ледяного покрова на реках и озерах.

Сети наземных измерений редки и неравномерно распределены в Арктике. Систематические наблюдения ледовой обстановки на реках и озерах сократились после 1980-х годов, в то время как районы измерения высоты снежного покрова сместились в сторону арктического побережья Северной Америки. В обоих случаях изменения в использовавшихся методах измерений затрудняет оценку долгосрочных тенденций.

Равномерно распределенная сеть измерительных станций по всей Арктике с унифицированными наблюдениями даст неоценимые сведения сейчас и в будущем.

Существует также множество исторических данных (от 50 до 100 лет назад), которые не используются в полной мере. В России, например, имеются ежедневные наблюдения вечной мерзлоты, в некоторых местах уходящие корнями в XIX век. Перевод этих данных в формат, доступный для международного научного сообщества – это кропотливая, дорогостоящая работа. Усилия по спасению данных позволят повысить наше понимание текущих изменений криосферы в историческом контексте.

# СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ



■ Высокоширотная Арктика  
■ Низкоширотная Арктика  
■ Субарктика  
— Граница лесной зоны

<b>Айсберг</b>	Кусок льда, отколовшийся от ледника или ледяного щита в процессе откалывания айсбергов.
<b>Адаптация</b>	Процесс поиска путей, чтобы справиться с последствиями изменения, смягчить их или воспользоваться ими. Адаптация к изменениям криосферы в Арктике может включать в себя, например, перенос прибрежных поселений или разработку способов добычи рыбы на открытой воде.
<b>Арктика</b>	Существует много различных определений слова “Арктика”, основывающихся на физико-географических характеристиках или на политическом и административном подходе в разных странах. Чтобы утвердить географический контекст, для своих оценок АМАП определил территорию, исходя из компромисса между различными определениями. “Территория АМАП” включает по существу сушу и морские районы, расположенные к северу от полярного круга (66° 32' с.ш.), к северу от 62° с.ш. в Азии и от 60° с.ш. в Северной Америке. Это сделано, чтобы включить морские территории севернее Алеутских островов, Гудзонова залива и северных районов Атлантического океана, включая море Лабрадора.
<b>Арктический режим быстрого изменения погоды</b>	Ранее не отмеченный режим погоды, наблюдаемый над Арктикой с 2006 г., когда область с низким давлением воздуха развивается в зимний период к северу от побережья России, а область с высоким давлением образуется на противоположной стороне Северного Ледовитого океана, над Гренландией и северной частью Канады. Эти условия вызывают образование ветров, которые дуют через Северный полюс от Гренландии в сторону России. Также называется “дипольной аномалией”.
<b>Вечная мерзлота</b>	Почва, скальный грунт или осадочные породы с температурой ниже 0 °С на протяжении двух и более последовательных лет.
<b>Высокоширотная Арктика</b>	Высокоширотная Арктика – самый северный регион Арктики, где сезон роста растений продолжается всего 1–2,5 месяца и средняя температура июля 4–8 °С. В таких экстремальных условиях флора и фауна беднее, чем в низкоширотной Арктике (см. карту).
<b>Гигатонна</b>	Одна гигатонна (1 Гт) – это 1 триллион тонн, или 1000 000 000 тонн. Одна гигатонна льда немного больше кубического километра (1,1 км <sup>3</sup> ). Одной гигатонны воды будет достаточно для обеспечения суточного потребления воды 5–9 миллионами городских жителей. 360 гигатонн растаявшего льда эквивалентны 1 мм повышению уровня Мирового океана.
<b>Деятельный слой</b>	Слой (обычно почва) выше вечной мерзлоты, который замерзает и оттаивает каждый год, не оставаясь постоянно в замерзшем состоянии.
<b>Зоопланктон</b>	Крошечные морские организмы (ракообразные, личинки рыб, моллюски и др.).
<b>Криосфера</b>	Научный термин для части поверхности Земли, которая находится в замерзшем состоянии. Криосфера включает в себя снег, грунт, постоянно пребывающий в мерзлом состоянии, лед на реках и озерах, ледники, ледовые купола и морской лед.
<b>Ледник</b>	Образование льда, чья форма и размеры определяются скальным основанием - лед ограничивается, например, краями долины
<b>Ледовый купол</b>	Куполообразное образование льда, которое целиком обволакивает гору, находящуюся под ним, и принимает ее форму.
<b>Ледяной щит</b>	Очень большой ледовый купол. В Арктике есть только один ледяной щит – Гренландский ледяной щит
<b>МГЭИК</b>	Межправительственная группа экспертов по изменению климата, ведущая международная организация по выполнению оценок изменения климата. <a href="http://www.ipcc.ch">www.ipcc.ch</a>

<b>Метан</b>	Один из основных парниковых газов (химическая формула $\text{CH}_4$ ). Поступает в атмосферу при разложении органического вещества в отсутствие кислорода. Метан в 25 раз более эффективен в нагреве планеты, чем углекислый газ (на масштабе 100 лет).
<b>Многолетний лед</b>	Морской лед, который пережил, по крайней мере, один сезон таяния. Многолетний лед с каждым годом становится толще, так как под ним образуется новый лед.
<b>Низкоширотная Арктика</b>	Низкоширотная Арктика или тундра с сезоном вегетации 3–4 месяца, со средней температурой июля $4^{\circ}11^{\circ}\text{C}$ . В этом регионе произрастают более 600 видов васкулярных растений, 80–100 % площади имеет растительный покров (см. карту).
<b>Обратная связь</b>	Обратная связь – когда изменение, происходящее в одной части системы, оказывает влияние на изменение в другой части, и отклик второй части изменяет первую часть. В системе климат-криосфера много механизмов потенциальных обратных связей, когда изменение компонента климатической системы оказывает влияние на изменение криосферы, а отклик криосферы изменяет эту составляющую климата. Пример – потеря морского льда вызывает дальнейшее нагревание океанической воды и воздуха (положительная обратная связь).
<b>Однолетний лед</b>	Морской лед, который образуется на протяжении одной зимы и затем полностью тает летом. Однолетний лед относительно тонкий, что делает его более чувствительным к изменениям ветра и температуры воздуха.
<b>Откол айсбергов</b>	Процесс откалывания льда от ледяных щитов или ледников в виде массивных кусков (айсбергов), которые уплывают в море.
<b>Отрицательная обратная связь</b>	В системе климат-криосфера отрицательная обратная связь имеет место, когда потепление вызывает изменение, которое создает похолодание, или похолодание вызывает изменение, которое создает потепление. Отрицательные обратные связи замедляют или подавляют изменение.
<b>Парниковые газы (ПГ)</b>	Газы в атмосфере, которые поглощают и излучают солнечную энергию в тепловом инфракрасном диапазоне. Этот процесс – фундаментальная причина “парникового эффекта”, который нагревает Землю. Основные парниковые газы, выбрасываемые в атмосферу в результате человеческой деятельности – диоксид углерода (углекислый газ), метан и оксид азота.
<b>Положительная обратная связь</b>	В системе климат-криосфера положительная обратная связь имеет место, когда потепление вызывает изменение, которое создает дальнейшее потепление, или похолодание вызывает изменение, которое создает дальнейшее похолодание. Положительные обратные связи ускоряют или усиливают изменение.
<b>Припай</b>	Морской лед, который образуется вдоль побережий.
<b>Продолжительность периода со снежным покровом</b>	Число дней, когда не менее 50 % видимой поверхности суши имеет сплошной снежный покров.
<b>Протяженность снежного покрова</b>	Площадь суши, покрытая снегом в данное время.
<b>Смягчение</b>	В контексте изменения климата смягчение – это действия, направленные на снижение концентрации парниковых газов в атмосфере либо снижением выбросов, либо увеличением резервуаров их хранения.
<b>Стойкие органические загрязнители (СОЗ)</b>	Органические соединения, устойчивые к разрушению биологическими и химическими процессами, воздействию света и ультрафиолетовой радиации. СОЗ сохраняются в окружающей среде длительное время и могут переноситься на большие расстояния как в воздухе, так и в воде. Они включают в себя промышленные химические вещества, такие как ПХБ (полихлорированные бифенилы) и органические пестициды, включая ДДТ (дихлордифенил трихлорметилметан) и линдан (гексахлорциклогексан или ГХЦГ).
<b>Термокарст</b>	Тип ландшафта, который формируется при проседании грунта вследствие таяния подземного льда.
<b>Термохалинная циркуляция</b>	Крупномасштабная циркуляция, создаваемая перепадом плотности воды в океане вследствие неоднородного распределения температуры и солёности.
<b>Углекислый газ (диоксид углерода)</b>	Один из главных парниковых газов (химическая формула $\text{CO}_2$ ). Поступает в атмосферу при сжигании (например, ископаемого топлива) и разложении. Поглощается растениями и водорослями и сохраняется в виде углерода, пока они растут.
<b>Фитопланктон</b>	Похожие на растения, крошечные создания (водоросли), живущие в море. Они известны как производители первичной продукции, так как они преобразуют солнечный свет в сахара, поглощая в процессе углекислый газ из воздуха.
<b>Черный углерод</b>	Частицы не полностью сгоревшего углерода, также известные как сажа. Черный углерод поступает в атмосферу от пожаров, транспорта и от объектов промышленности и переносится в Арктику по воздуху.

Подписано в печать 28.06.2016  
Формат 60×84 1/8  
Тираж 200 экз.

Печать цифровая  
Печ. л. 6,9  
Заказ № 1820

Типография издательства Санкт-Петербургского политехнического университета  
Петра Великого  
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

## Обзорный доклад СВИПА 2011 г.

Секретариат АМАП

Gaustadalléen 21  
N-0349 Oslo, Norway

T +47 22 95 83 40

F +47 22 60 44 27

[www.amap.no](http://www.amap.no)



АРКТИЧЕСКИЙ  
СОВЕТ