

МГЭИК

МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ ГРУППА ЭКСПЕРТОВ ПО ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, 2013 Г.

Физическая научная основа

Резюме для политиков,
Техническое резюме и
Часто задаваемые вопросы

РГ I

ВКЛАД РАБОЧЕЙ ГРУППЫ I В ПЯТЫЙ ОЦЕНОЧНЫЙ
ДОКЛАД МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ ГРУППЫ
ЭКСПЕРТОВ ПО ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА



Изменение климата, 2013 г. Физическая научная основа

Резюме для политиков

Доклад Рабочей группы I МГЭИК

Техническое резюме

Доклад, принятый Рабочей группой I МГЭИК, но не утвержденный в деталях,

и

Часто задаваемые вопросы

Часть вклада Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад
Межправительственной группы экспертов по изменению климата

Редакторы

Томас Ф. Стоккер

Сопредседатель Рабочей группы I
Бернский университет

Дахэ Цинь

Сопредседатель Рабочей группы I
Китайское метеорологическое управление

Джиан-Каспер Платтнер

Научный директор

Мелинда М. Б. Тигнор

Директор по оперативным
вопросам

Симон К. Аллен

Старший научный
сотрудник

Джудит Бошунг

Помощник по
административным вопросам

Александр Науэлс

Помощник по научным
вопросам

Юй Ся

Научный сотрудник

Винсент Бекс

Сотрудник по ИТ

Паулин М. Мидглей

Руководитель

Группа технической поддержки Рабочей группы I

© 2013 г., Межправительственная группа экспертов по изменению климата

ISBN 978-92-9169-438-9

Употребляемые обозначения и изложение материала на картах не означают выражения со стороны Межправительственной группы экспертов по изменению климата какого бы то ни было мнения относительно правового статуса той или иной страны, территории, города или района, или их властей, или относительно делимитации их границ.

Фотография на обложке: Ледник Фолгефонна на высокогорном плато Серфьорда, Норвегия (60°03' с.ш. – 6°20' в.д.)
© Yann Arthus-Bertrand / Altitude.

**Предисловие,
вступление
и посвящение**

Предисловие

Доклад «Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа» содержит глобальную оценку науки об изменении климата, ясные и обоснованные выводы из которой в значительной мере говорят о том, что данная наука констатирует в настоящее время с 95-процентной достоверностью, что деятельность человека является доминирующей причиной потепления, наблюдаемого с середины XX века. В докладе подтверждается, что потепление климатической системы является неоспоримым фактом и сопровождается множественными наблюдаемыми изменениями беспрецедентного характера в масштабах от десятилетий до тысячелетий: потепление атмосферы и океана, уменьшение массы снега и льда, повышение уровня моря и увеличение концентраций парниковых газов. Каждое из последних трех десятилетий характеризовалось последовательно более высокой температурой у поверхности Земли по сравнению с любым из предыдущих десятилетий после 1850 г.

Эти и другие выводы подтверждают и расширяют наше научное понимание климатической системы и роли выбросов парниковых газов. Доклад, как таковой, требует уделения ему срочного внимания со стороны как политиков, так и широкой общественности.

В качестве межправительственного органа, учрежденного совместно в 1988 г. Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО) и Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) предоставляла политикам самые авторитетные и объективные научно-технические оценки. Начиная с 1990 г. эта серия оценочных докладов, специальных докладов, технических документов, методологических докладов и других разработок МГЭИК стала стандартными справочными материалами.

Настоящий вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад МГЭИК содержит важные новые научные знания, которые могут быть использованы для подготовки климатической информации и обслуживания, с тем чтобы оказывать помощь обществу в реагировании на проблемы изменения климата. Особенно большое значение имеет установление сроков, поскольку благодаря четким и бесспорным данным физической науки эта информация придает новый импульс тем, кто ведет переговоры и отвечает за заключение в 2015 г. нового соглашения согласно Рамочной конвенции Организация Объединенных Наций об изменении климата.

Изменение климата – это долгосрочная проблема, но в то же время проблема, которая требует срочных действий, учитывая темпы и масштабы накопления парниковых газов в атмосфере и опасность повышения температуры более чем на 2 градуса Цельсия. Сегодня нам необходимо сосредоточиться на фундаментальных аспектах и действиях, ибо в противном случае те риски, с которыми мы сталкиваемся, будут повышаться каждый год.

Эта оценка, подготовленная Рабочей группой I, стала возможной благодаря преданности своему делу и самоотверженным усилиям многих сотен экспертов во всем мире, представляющих широкий спектр дисциплин. ВМО и ЮНЕП гордятся тем, что такое множество экспертов входит в их сообщества и сети. Мы выражаем нашу глубокую благодарность всем авторам, редакторам-рецензентам и экспертам-рецензентам за их знания, опыт и время, которые они посвятили этой работе. Мы хотели бы поблагодарить персонал Группы технической поддержки Рабочей группы I и Секретариата МГЭИК за их приверженность своему делу.

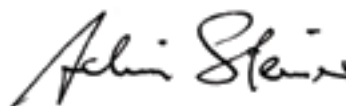
Мы также благодарны правительствам, которые поддержали участие их ученых в подготовке этого доклада и которые внесли вклады в Целевой фонд МГЭИК с целью обеспечения весомого участия экспертов из развивающихся стран и стран с переходной экономикой. Мы хотели бы выразить нашу признательность правительству Италии за организацию приема тематического совещания по Пятому оценочному докладу МГЭИК; правительствам Китая, Франции, Марокко и Австралии за организацию приема сессий по подготовке вклада Рабочей группы I, а также правительству Швеции за организацию приема двенадцатой сессии Рабочей группы I в Стокгольме, посвященной утверждению доклада Рабочей группы I. Щедрая финансовая поддержка, оказанная правительством Швейцарии, и логистическая поддержка Бернского университета (Швейцария) обеспечили бесперебойную работу Группы технической поддержки Рабочей группы I. Выражаем им нашу искреннюю признательность.

Нам хотелось бы особенно поблагодарить д-ра Раджендру Пачаури, председателя МГЭИК, за его руководство работой МГЭИК, и мы выражаем нашу глубокую признательность проф. Дахэ Цинь и проф. Томасу Стоккери, сопредседателям Рабочей группы I, за их неустанное руководство работой на всем протяжении разработки и выпуска этого доклада.



М. Жарро

Генеральный секретарь
Всемирная Метеорологическая Организация



А. Штайнер

Исполнительный директор
Программа Организация Объединенных Наций по окружающей среде

Вступление

Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) содержит всеобъемлющую оценку физической основы науки об изменении климата. Он строится на вкладе Рабочей группы I в Четвертый доклад об оценке МГЭИК 2007 г. и включает последующие новые выводы из Специального доклада по управлению рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата, а также из данных исследований, опубликованных в обширной научно-технической литературе. В этой оценке рассматриваются новые свидетельства изменения климата в прошлом, в настоящее время, а также проекции будущего изменения климата, основанные на многочисленных независимых научных анализах данных наблюдений за климатической системой, палеоклиматических архивах, теоретических исследованиях климатических процессов и на результатах моделирования с помощью климатических моделей.

Рамки доклада

В процессе рассмотрения и утверждения плана ее Пятого оценочного доклада МГЭИК сконцентрировала внимание на тех аспектах существующего понимания науки об изменении климата, которые были сочтены наиболее актуальными для политиков.

В этом докладе Рабочая группа I расширила сферу охвата будущего изменения климата по сравнению с предыдущими докладами посредством оценки в двух отдельных главах его краткосрочных проекций и предсказуемости, а также долгосрочных проекций и необратимости. В соответствии с решениями, принятыми Группой во время определения тематики и утверждения плана, во всех трех рабочих группах для проекций изменений климата в XXI веке используется набор новых сценариев, а именно репрезентативные траектории концентраций. Охват региональной информации в докладе Рабочей группы I расширен благодаря специальной оценке таких климатических явлений, как муссонные системы, и их значимости для будущего изменения климата в регионах.

Доклад Рабочей группы I – это оценка, а не обзор и не учебник по климатологии, и он основан на опубликованной научно-технической литературе, имеющейся на 15 марта 2013 г. В основе всех аспектов доклада лежит твердая приверженность всеобъемлющей оценке науки без каких-либо предубеждений и таким образом, чтобы эта оценка затрагивала вопросы политики, но не становилась при этом политической директивой.

Структура доклада

Этот доклад состоит из небольшого Резюме для политиков, более объемного Технического резюме и 14 тематических глав, плюс

приложения. Новинкой в этой оценке Рабочей группы I является Атлас глобальных и региональных климатических проекций (приложение I), содержащий временные ряды и карты проекций температуры и осадков для 35 регионов мира, что упрощает доступность для заинтересованных лиц и пользователей.

Резюме для политиков и Техническое резюме этого доклада придерживаются параллельной структуры, и каждое из них включает перекрестные ссылки на главу и раздел, в которых в основном докладе можно найти материал, представленный в резюме в краткой форме. Таким образом эти компоненты резюме доклада обеспечивают дорожную карту к содержанию всего доклада и отслеживаемое изложение всех главных выводов.

В целях упрощения доступа для широкого круга читателей к выводам, содержащимся в оценке Рабочей группы I, и расширения возможностей для их использования заинтересованными лицами каждый раздел Резюме для политиков содержит заявление, выделенное в виде заголовка. В общей сложности эти 19 заглавных заявлений представляют собой общее резюме на простом и удобном для цитирования языке, которое получило поддержку ученых и было одобрено правительствами стран-членов МГЭИК. Другой новаторской чертой этого доклада является включение в Техническое резюме элементов тематической направленности, которые обеспечивают сквозные оценки важных общих вопросов физических основ науки об изменении климата.

Введение (глава 1): Эта глава содержит информацию о прогрессе в области науки об изменении климата после первого Доклада об оценке МГЭИК в 1990 г., а также обзор ключевых концепций, показателей изменения климата, трактовок неопределенностей и передовых достижений, связанных с возможностями измерений и моделирования. Это включает описание будущих сценариев и, в частности, сценариев репрезентативных траекторий концентраций, используемых всеми рабочими группами при подготовке Пятого оценочного доклада МГЭИК.

Наблюдения и палеоклиматическая информация (главы 2, 3, 4, 5): В этих главах дается оценка информации из всех компонентов климатической системы, касающейся изменчивости и изменения климата и полученной из записей приборных показаний и климатических архивов. Они охватывают все соответствующие составляющие атмосферы, включая стратосферу, поверхность суши, океаны и криосферу. Рассматриваются временные масштабы от дней до десятилетий (главы 2, 3 и 4) и от столетий до многих тысячелетий (глава 5).

Понимание процессов (главы 6 и 7): Эти главы охватывают все соответствующие аспекты - от наблюдений и понимания процессов до проекций в глобальном-региональном масштабах для двух ключевых тем. Глава 6 посвящена углеродному

циклу и его взаимодействиям с другими биогеохимическими циклами, в частности с циклом азота, а также обратным связям с климатической системой. Впервые появляется глава, посвященная оценке физических основ науки об облаках и аэрозолях, их взаимодействиям и химии, и роли водяного пара, а также их роли в обратных связях с климатической системой (глава 7).

От воздействия до установления причин изменения климата (главы 8, 9, 10): Вся информация о разных движущих факторах (естественных и антропогенных) изменения климата собрана, выражена в показателях радиационного воздействия и оценена в главе 8. В главе 9 иерархия климатических моделей, используемых для имитации изменения климата в прошлом и в настоящее время, анализируется и оценивается путем сравнения с данными наблюдений и палеоклиматическими реконструкциями. В главе 10 дается оценка информации, касающейся обнаружения изменений в глобальном-региональном масштабах и их влияния на увеличение выбросов антропогенных парниковых газов.

Будущее изменение климата - предсказуемость и необратимость (главы 11 и 12): В этих главах оцениваются проекции будущего изменения климата, полученные при помощи климатических моделей во временных масштабах от десятилетий до столетий, как в глобальном, так и региональном масштабах, включая средние значения изменений, изменчивости и экстремальных явлений. Рассматриваются основополагающие вопросы, касающиеся предсказуемости климата, а также долгосрочного изменения климата, неизбежности изменения климата и инерции климатической системы. Дается также оценка знаний о необратимых изменениях и сюрпризах в климатической системе.

Интеграция (главы 13 и 14): В этих главах обобщается вся соответствующая информация по двум ключевым темам этой оценки: изменение уровня моря (глава 13) и климатические явления в регионах (глава 14). В главе 13 дается сквозная оценка информации об изменении уровня моря, основанная на палеоклиматических реконструкциях, данных наблюдений и понимании процессов, а также содержатся проекции в глобальном-региональном масштабах. В главе 14 оцениваются наиболее важные моды изменчивости в климатической системе, такие как Эль-Ниньо/Южное колебание, муссоны и многие другие, а также экстремальные явления. Помимо этого, в этой главе рассматриваются взаимосвязи между климатическими явлениями, их региональными проявлениями и их значимость для будущего изменения регионального климата.

Карты, оценка которым дается в главе 14, наряду с главами 11 и 12, составляют основу Атласа глобальных и региональных климатических проекций, содержащегося в приложении I и также доступного в цифровом формате. Информация о радиационных воздействиях и оценки будущих атмосферных концентраций, приведенные в главах 7, 8, 11 и 12, составляют основу таблиц сценария климатической системы, представленных в приложении II. Все материалы, включая варианты изображений с высоким разрешением, базовые данные и

вспомогательный материал к главам, имеются также онлайн: www.climatechange2013.org.

Научное сообщество и центры климатического моделирования во всем мире объединили свою деятельность в рамках этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP5), составляющего основу для большинства оценок будущего изменения климата в этом докладе. Их усилия дают возможность Рабочей группе I предоставлять всеобъемлющую научную информацию для политиков и пользователей этого доклада, а также для конкретных оценок последствий, осуществляемых Рабочей группой II МГЭИК, и стратегий расходов и смягчения воздействий на изменение климата, осуществляемых Рабочей группой III МГЭИК.

После их успешного включения в предыдущую оценку Рабочей группы I в 2007 г. все главы содержат часто задаваемые вопросы. В соответствующем разделе авторы дают научные ответы на ряд общих вопросов в такой форме, которая будет понятна широкому кругу читателей и будет являться ресурсом, предназначенным для преподавательских целей. И наконец, доклад сопровождается обширным дополнительным материалом, который имеется в онлайн-версиях доклада, с тем чтобы повысить уровень детализации, таким как описание наборов данных, моделей или методологий, используемых в содержащихся в главах анализах, а также материалы в поддержку рисунков в Резюме для политиков.

Процесс

Этот Оценочный доклад Рабочей группы I представляет собой совместные усилия сотен ведущих экспертов в области климатологии и был подготовлен в соответствии с правилами и процедурами, установленными МГЭИК. Тематическое совещание по Пятому оценочному докладу было проведено в июле 2009 г., а планы по вкладам трех рабочих групп были утверждены на тридцать первой сессии Группы в ноябре 2009 г. Правительства и организации, имеющие статус наблюдателей при МГЭИК, назначили экспертов в группу авторов. Эта группа из 209 координирующих ведущих авторов и ведущих авторов, плюс 50 редакторов-резидентов, отобранных Бюро Рабочей группы I, была утверждена на сорок первой сессии Бюро МГЭИК в мае 2010 г. Помимо этого, более 600 сотрудничающих авторов предоставили группам авторов, по их просьбе, проект текста и информацию. Проекты, подготовленные авторами, прошли два раунда официального рассмотрения и редактирования, после чего последовал заключительный раунд обсуждения замечаний правительств по Резюме для политиков. В общей сложности 1 089 отдельных экспертов-рецензентов и 38 правительств представили 54 677 письменных редакционных замечаний. Редакторы-рецензенты по каждой главе контролировали процесс редактирования для обеспечения того, чтобы все существенные замечания редакционного характера были рассмотрены должным образом. Резюме для политиков утверждалось построчно, и затем основные главы были приняты на двенадцатой сессии Рабочей группы I МГЭИК, состоявшейся 23 - 27 сентября 2007 г.

Выражение признательности

Мы весьма благодарны за экспертные знания, упорный труд, приверженность совершенству и добросовестность, продемонстрированные всеми координирующими ведущими авторами и ведущими авторами, важную помощь которым оказали многие сотрудничающие авторы. Редакторы-рецензенты сыграли исключительно важную роль в оказании содействия группам авторов и обеспечении целостности процесса рецензирования. Мы выражаем нашу искреннюю признательность всем экспертам-рецензентам и правительственным рецензентам. Мы хотели бы также поблагодарить членов Бюро Рабочей группы I Жана Жузеля, Абдалу Мокссита, Фатеме Рахинизаде, Фредолин Танганг, Дэвида Рэтта и Франсиса Звиерса за их взвешенные рекомендации и поддержку в течение всего процесса подготовки доклада.

Мы выражаем глубокую признательность за длительную работу научного сообщества, которая была организована и поддерживалась Всемирной программой исследований климата, в частности в рамках CMIP5. В ходе этой работы, выполненной центрами климатического моделирования во всем мире, было подготовлено более 2 млн гигабайтов цифровых данных, которые архивировались и распространялись под руководством Программы по диагностике и взаимному сравнению климатических моделей. Она является итогом беспрецедентных согласованных усилий, предпринятых научным сообществом и финансировавшими эту работу учреждениями.

Мы искренне благодарим принимающие стороны и организаторов четырех совещаний ведущих авторов Рабочей группы I и двенадцатой сессии Рабочей группы I. Мы выражаем глубокую признательность за поддержку со стороны принимающих стран: Китая, Франции, Марокко, Австралии и Швеции. Высоко оценивается поддержка, оказанная нашим ученым многими правительствами, а также по линии Целевого фонда МГЭИК. Эффективное функционирование Группы технической поддержки Рабочей группы I стало возможным благодаря щедрой финансовой поддержке, оказанной правительством Швейцарии, и логистической поддержке Бернского университета (Швейцария).

Мы хотели бы также поблагодарить Секретаря МГЭИК Ренату Крист и сотрудников Секретариата МГЭИК: Газтано Леоне, Джонатана Линна, Мэри Джин Бюра, Софи Шлингеманн, Джудит Иву, Джесбин Байдиа, Верани Забулу, Жоэля Фернандеса, Анни Куртен, Лауру Биаджиони и Ами Смит. Благодарности заслуживает Франсис Хайес, который выполнял функции сотрудника по обслуживанию конференций во время сессии Рабочей группы I, посвященной утверждению доклада.

И наконец, нашей особой признательностью за их профессионализм, творческий подход и преданность своему делу заслуживают члены Группы технической поддержки Рабочей группы I Джиан-Каспер Платтнер, Мелинда Тигнор, Симон Аллен, Джудит Бошунг, Александер Науэлс, Юй Ся, Винсент Бекс и Паулин Мидглей. Их неустанные усилия по координации доклада Рабочей группы I обеспечили получение высококачественного окончательного продукта. В этом им помогли Адриан Мишель и Флавио Лехнер, которых также поддерживали Чжоу Ботао и Сунь Ин. Помимо этого, выражается признательность за внесение вкладов следующим лицам: Дэвиду Хэнсфорду (помощь в редактировании часто задаваемых вопросов), UNEP/GRID-Geneva и Женевскому университету (помощь в графическом оформлении часто задаваемых вопросов), Терезе Корнак (редактирование), Мэрилин Андерсон (индекс) и Микаэлю Шибао (дизайн и макет).



Раджендра К. Пачаури
Председатель МГЭИК



Цинь Дахэ
Сопредседатель РГ I МГЭИК



Томас Ф. Стоккер
Сопредседатель РГ I МГЭИК

Посвящение



Берт Болин
(15 мая 1925 г. – 30 декабря 2007 г.)

Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) под названием «Изменение климата 2013 г.: Физическая научная основа» посвящается памяти Берта Болина – первого председателя МГЭИК.

Будучи замечательным ученым, который опубликовал работы как по динамике атмосферы, так и углеродному циклу, включая процессы, происходящие в атмосфере, океанах и биосфере, Берт Болин осознал сложный характер климатической системы и ее чувствительность к антропогенному возмущению. Своим участием в разработке ряда глобальных программ он внес фундаментальный вклад в организацию международного сотрудничества в области климатических исследований.

Берт Болин играл ключевую роль в создании МГЭИК и подготовке ее оценок, которые осуществляются в рамках уникального и формализованного процесса в целях обеспечения четкой научной основы для осознанных решений, касающихся одной из величайших проблем нашего времени. Его умение видеть перспективу и руководство работой Группы в качестве председателя-учредителя в период с 1988 г. по 1997 г. заложили основу для последующих оценок, включая настоящую оценку, и об этом помнят с чувством глубокой признательности.

Содержание

Начало

Предисловие	v
Вступление	vii
Посвящение	xi

РП

Резюме для политиков	3
----------------------------	---

ТР

Техническое резюме	33
--------------------------	----

ЧЗВ

Часто задаваемые вопросы	119
--------------------------------	-----

Глоссарий

Глоссарий	185
-----------------	-----

Резюме для политиков

Резюме для ПОЛИТИКОВ

Авторы-составители:

Лиза В. Александер (Австралия), Симон К. Аллен (Швейцария/Новая Зеландия), Натаниэль Л. Биндофф (Австралия), Франсуа-Мари Бреон (Франция), Джон А. Черч (Австралия), Ульрих Кубаш (Германия), Сейта Эмори (Япония), Пирс Форстер (СК), Пьер Фридлигштайн (СК/Бельгия), Натан Жиллетт (Канада), Джонатан М. Грегори (СК), Деннис Л. Хартманн (США), Эйстайн Янсен (Норвегия), Бен Киртман (США), Рето Кнутти (Швейцария), Кришна Кумар Каникичарла (Индия), Петер Лемке (Германия), Иохем Мароцке (Германия), Валерии Массон-Дельмотт (Франция), Джеральд А. Михль (США), Игорь И. Мохов (Российская Федерация), Шилун Пяо (Китай), Джиан-Каспер Платтнер (Швейцария), Цинь Дахэ (Китай), Венкатачалам Рамасвами (США), Дэвид Рэндалл (США), Моника Рейн (Германия), Маиса Рохас (Чили), Кристофер Сабин (США), Дрю Шиндел (США), Томас Ф. Стоккер (Швейцария), Линн Д. Толлей (США), Дэвид Г. Воан (СК), Шан-Пин Се (США)

Авторы, внесшие вклад в подготовку доклада:

Майлз Р. Аллен (СК), Оливье Буше (Франция), Дон Чемберс (США), Энс Хессельбьерг Кристенсен (Дания), Филипп Сие (Франция), Питер Ю. Кларк (США), Мэттью Коллинз (СК), Джозефино К. Комисо (США), Вивьян Васконселлос Де Менезес (Австралия/Бразилия), Ричард А. Фили (США), Тьерри Фишефе (Бельгия), Арлин М. Фьоре (США), Грегори Флато (Канада), Ян Фуглестведт (Норвегия), Габриэль Хегерль (СК/Германия), Поль Ж. Хезель (Бельгия/США), Грегори К. Джонсон (США), Георг Казер (Австралия/Италия), Владимир Катцов (Российская Федерация), Джон Кеннеди (СК), Альберт М. Г. Клайн Танк (Нидерланды), Корин Лё Кере (СК), Гуннар Михре (Норвегия), Тимоти Осборн (СК), Энтони Дж. Пейн (СК), Джудит Перлвиц (США), Скотт Пауэр (Австралия), Майкл Прэтер (США), Стефен Р. Ринтул (Австралия), Джоэри Рогель (Швейцария/Бельгия), Матильда Рустикуччи (Аргентина), Микаэль Шульц (Германия), Ян Седлачек (Швейцария), Питер А. Стотт (СК), Роуан Саттон (СК), Питер У. Торн (США/Норвегия/СК), Дональд Уэбблес (США)

При ссылках на настоящее Резюме для политиков следует указывать:

МГЭИК, 2013 г.: Резюме для политиков. Содержится в публикации *Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата*. [Стоккер, Т.Ф., Д. Цинь, Дж.-К. Платтнер, М. Тигнор, С. К. Аллен, Дж. Бошунг, А. Науэлс, Ю. Ся, В. Бекс и П. М. Мидглей (редакторы)]. Кембридж Университи Пресс, Кембридж, Соединенное Королевство, и Нью-Йорк, США.

А. Введение

Вклад Рабочей группы I в Пятый доклад об оценке МГЭИК (Д05) состоит в рассмотрении новых свидетельств изменения климата, основанных на многочисленных независимых научных анализах данных наблюдений за климатической системой, палеоклиматических архивов, теоретических исследований климатических процессов и результатах моделирования с помощью климатических моделей. Данный материал основывается на вкладе Рабочей группы I в Четвертый доклад об оценке (Д04) МГЭИК и включает результаты новых, более поздних исследований. Будучи компонентом пятого цикла оценки, Специальный доклад МГЭИК по управлению рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата (СДЭБ) служит важной информационной базой по изменяющимся метеорологическим и климатическим экстремальным явлениям.

Настоящее Резюме для политиков (РП) соответствует структуре доклада Рабочей группы I. Изложение фактов подкрепляется серией обобщающих, выделенных особо выводов, которые в своей совокупности составляют краткое резюме. Основные разделы содержат введение в виде краткого, выделенного курсивом абзаца, в котором излагается методологическая база оценки.

Степень уверенности в ключевых выводах этой оценки основана на анализе группами авторов лежащих в их основе научных представлений и выражается посредством качественного уровня достоверности (от *весьма низкого* до *весьма высокого*) и, по мере возможности, вероятно, через количественно определенную вероятность (от *исключительно маловероятно* до *практически определено*). Уверенность в обоснованности каждого вывода основана на виде, количестве, качестве и непротиворечивости данных (например, фактов, понимания механизмов, теории, моделей, экспертных заключений) и степени их согласованности¹. Вероятностные оценки количественных показателей неопределенности в каждом выводе основаны на статистическом анализе данных наблюдений или результатах моделирования, или на тех и других, а также на экспертных заключениях². Там, где это уместно, выводы формулируются в виде констатации фактов без использования качественных оценок неопределенности. (Более подробно о специфических терминах, используемых МГЭИК для передачи неопределенности, см. в главе 1 и вставку ТР.1).

Обоснование основных пунктов настоящего Резюме для политиков можно найти в разделах глав лежащего в основе доклада и в Техническом резюме. Соответствующие ссылки даются в фигурных скобках.

В. Наблюдаемые изменения климатической системы

В основе наблюдений за климатической системой лежат прямые измерения и дистанционное зондирование, осуществляемое со спутников и других платформ. Наблюдения за температурой и другими переменными в глобальном масштабе начались в середине XIX-го века с наступлением эры инструментальных методов, а с 1950 г. стали доступны более всеобъемлющие и разнообразные ряды наблюдений. Палеоклиматические реконструкции удлиняют некоторые ряды на периоды от сотен до миллионов лет назад. В своей совокупности они дают всестороннее представление об изменчивости и долгосрочных изменениях в атмосфере, океане, криосфере и на поверхности суши.

Потепление климатической системы является неоспоримым фактом, и начиная с 1950-х годов многие наблюдаемые изменения являются беспрецедентными в масштабах от десятилетий до тысячелетий. Произошло потепление атмосферы и океана, запасы снега и льда сократились, уровень моря повысился, концентрации парниковых газов возросли (см. рисунки РП.1, РП.2, РП.3 и РП.4). {2.2, 2.4, 3.2, 3.7, 4.2–4.7, 5.2, 5.3, 5.5–5.6, 6.2, 13.2}

¹ В настоящем Резюме для политиков для описания имеющихся свидетельств используются следующие обобщенные термины: ограниченные, средние или надежные; и для степени согласия: низкая, средняя или высокая. Степень достоверности выражается при помощи пяти качественных оценок: весьма низкая, низкая, средняя, высокая и весьма высокая, а также посредством текста курсивом, например *средняя степень достоверности*. Какому-либо свидетельству и степени согласия могут присваиваться различные степени достоверности, однако возрастание уровня свидетельства и степени согласия коррелирует с увеличением степени достоверности (более подробно см. главу 1 и вставку ТР.1).

² В настоящем Резюме для политиков использованы следующие термины для указания оцененной вероятности какого-либо эффекта или результата: практически определено – вероятность 99–100 %; весьма вероятно – 90–100 %; вероятно – 66–100 %; относительно вероятно – 33–66 %; маловероятно – 0–33 %; весьма маловероятно – 0–10 %; исключительно маловероятно – 0–1 %. Когда это целесообразно, могут также использоваться дополнительные термины (чрезвычайно вероятно: 95–100 %; скорее вероятно, чем нет – >50–100 %; и крайне маловероятно – 0–5 %). Оценка вероятности показана курсивом, например *весьма вероятно* (более подробно см. главу 1 и вставку ТР.1).

В.1 Атмосфера

Каждое из трех последних десятилетий характеризовалось более высокой температурой у поверхности Земли по сравнению с любым предыдущим десятилетием начиная с 1850 г. (см. рисунок РП.1). В Северном полушарии 1983–2012 годы были, **вероятно**, самым теплым 30-летним периодом за последние 1 400 лет (*средняя степень достоверности*). {2.4, 5.3}

РП

- Глобально усредненные совокупные данные о температуре поверхности суши и океана, рассчитанные на основе линейного тренда, свидетельствуют о потеплении на $0,85 [0,65-1,06] \text{ } ^\circ\text{C}^3$ за период 1880–2012 гг., за который имеются многочисленные, независимо полученные, массивы данных. Общее увеличение среднего показателя за период 2003–2012 гг. по сравнению с 1850–1900 гг. составляет $0,78 [0,72-0,85] \text{ } ^\circ\text{C}$, как следует из одного, самого длинного ряда данных⁴ (см. рисунок РП.1). {2.4}
- В течение самого продолжительного периода, по которому расчет региональных трендов является достаточно адекватным (1901–2012 гг.), потепление наблюдалось почти во всем мире (см. рисунок РП.1). {2.4}
- Помимо явного повышения на протяжении нескольких десятилетий, средняя глобальная приземная температура демонстрирует существенную десятилетнюю и межгодовую изменчивость (см. рисунок РП.1). Вследствие естественной изменчивости климата тренды, рассчитанные на основе коротких рядов наблюдений, в значительной степени зависят от дат начала и окончания периода и в целом не отражают долгосрочные климатические тенденции. Одним из примеров является тот факт, что темпы потепления за последний 15-летний период (1998–2012 гг.; $0,05$ [от $-0,05$ до $0,15$] $^\circ\text{C}$ за десятилетие), который начинается с мощного явления Эль-Ниньо, ниже темпов, рассчитанных с 1951 г. (1951–2012 гг.; $0,12 [0,08-0,14] \text{ } ^\circ\text{C}$ за десятилетие)⁵. {2.4}
- Реконструкции значений приземной температуры в континентальном масштабе показывают с *высокой степенью достоверности* наличие охватывающих много десятилетий периодов во время средневековой климатической аномалии (950-1250 гг.), которые были в некоторых регионах такими же теплыми, как и в конце XX-го века. Эти региональные теплые периоды не были столь согласованными в разных регионах, как при потеплении в конце XX-го века (*высокая степень достоверности*). {5.5}
- *Практически определено*, в глобальном масштабе за период начиная с середины XX-го века тропосфера потеплела. Более полные данные наблюдений допускают большую, чем где-либо еще, степень достоверности при оценке изменений температуры тропосферы во внетропической зоне Северного полушария. Имеется *средняя степень достоверности* в отношении темпов потепления и его вертикальной структуры во внетропической тропосфере Северного полушария, и *низкая степень достоверности* – в остальных районах. {2.4}
- *Степень достоверности* в отношении изменения количества осадков, осредненного по всем районам суши в глобальном масштабе с 1901 г., является *низкой* за период до 1951 г. и *средней* – за последующий период. В среднем в средних широтах в Северном полушарии количество осадков увеличилось с 1901 г. (*средняя степень достоверности* до 1951 г. и *высокая степень* – после). Для других широт осредненные по площади долгосрочные положительные и отрицательные тренды характеризуются *низкой степенью достоверности* (см. рисунок РП.2). {ТФЕ.1 ТР, рисунок 2; 2.5}
- Изменения во многих экстремальных метеорологических и климатических явлениях наблюдаются приблизительно с 1950 г. (более подробно см. таблицу РП.1). *Весьма вероятно*, что в глобальном масштабе число холодных дней и ночей снизилось, а число теплых дней и ночей увеличилось⁶. *Вероятно*, что повторяемость волн тепла возросла на значительной части территории Европы, Азии и Австралии. *Вероятно*, насчитывается большее число участков суши, где увеличилось количество случаев выпадения сильных осадков, чем участков, где количество таких случаев уменьшилось. Повторяемость и интенсивность сильных осадков, *вероятно*, увеличились в Северной Америке и Европе. На других континентах степень *достоверности* изменений, касающихся явлений сильных осадков, в лучшем случае, *средняя*. {2.6}

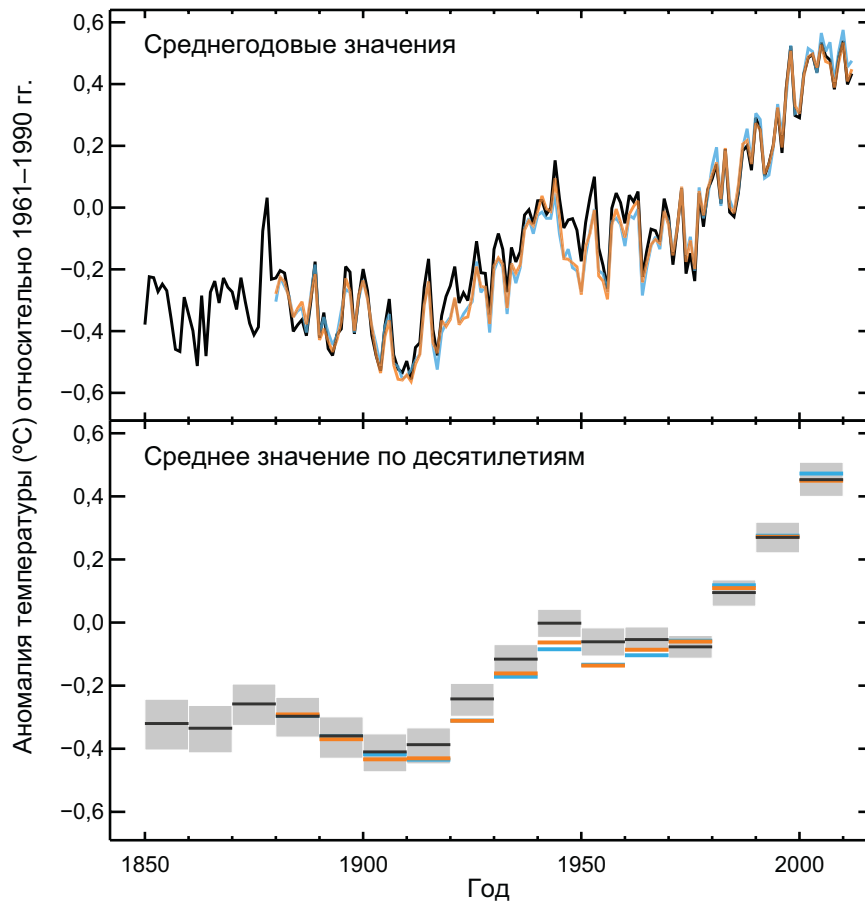
³ Во вкладе РГ I в Д05 при количественной оценке неопределенности используются 90-процентные интервалы неопределенности, если не указывается иное. 90-процентный интервал неопределенности, указанный в квадратных скобках, с вероятностью 90 % включает оцениваемую величину. Интервалы неопределенности не обязательно являются симметричными относительно соответствующей наилучшей оценке. Наилучшая оценка этой величины также приводится, если она имеется.

⁴ Оба метода, представленные в этом пункте, также использовались в Д04. Первый рассчитывает разницу посредством использования линейного тренда, обеспечивающего наилучшее соответствие всех значений между 1880 и 2012 гг. Второй метод оценивает разницу между средними значениями за два периода: 1850-1900 гг. и 2003–2012 гг. В этой связи результирующие значения и их 90-процентные интервалы неопределенности не являются непосредственно сопоставимыми. {2.4}

⁵ Тренды для 15-летних периодов, начинающихся с 1995, 1996 и 1997 гг., составляют $0,13 [0,02-0,24] \text{ } ^\circ\text{C}$, $0,14 [0,03-0,24] \text{ } ^\circ\text{C}$ и $0,07$ [от $-0,02$ до $0,18$] $^\circ\text{C}$ за десятилетие соответственно.

⁶ Определения терминов: холодные дни/холодные ночи, теплые дни/теплые ночи, волны тепла см. в Глоссарии.

а) Наблюдаемая в период 1850–2012 гг. средняя глобальная аномалия совокупной температуры поверхности суши и поверхности океана



б) Наблюдаемое изменение приземной температуры в период 1901–2012 гг.

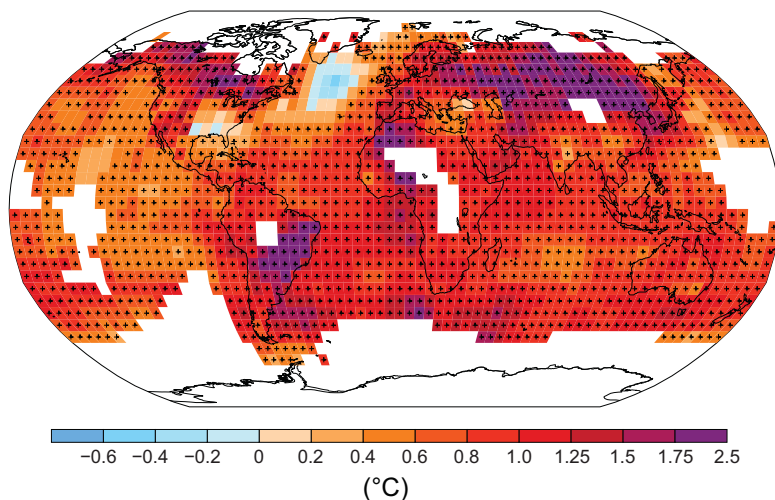


Рисунок РП.1. а) Наблюдаемые в период 1850–2012 гг. средние глобальные аномалии совокупной температуры поверхности суши и океана на основе трех массивов данных. Верхняя часть: среднегодовые значения. Нижняя часть: средние значения по десятилетиям, включая оценку неопределенности для одного ряда данных (черный цвет). Аномалии показаны относительно средних значений 1961–1990 гг. б) Карта наблюдаемого с 1901 по 2012 гг. изменения приземной температуры, составленная согласно трендам температуры, определенным посредством метода линейной регрессии по одному ряду данных (оранжевая линия в части «а»). Тренды были рассчитаны для тех мест, где наличие данных позволяет дать надежную оценку (т. е. только для ячеек сетки с наличием более 70 % от возможного объема данных, причем более 20 % от возможного объема данных за первые и последние 10 % периода наблюдений). Другие районы показаны белым цветом. Ячейки сетки, для которых статистическая значимость тренда достигает 10 %, показаны знаком «+». Перечень рядов данных и более подробную техническую информацию см. в дополнительном материале к Техническому резюме. [Рисунки 2.19–2.21; рисунок ТР.2]

Таблица РП.1. Экстремальные метеорологические и климатические явления: оценка в глобальном масштабе недавно наблюдавшихся изменений, антропогенный вклад в эти изменения и прогнозируемые дальнейшие изменения на начало (2016–2035 гг.) и конец (2081–2100 гг.) XXI-го века. Жирным шрифтом показаны те случаи, когда Д05 (черный цвет) содержит пересмотренную* оценку по сравнению со СДЭБ (синий цвет) или Д04 (красный цвет). В предыдущих документах об оценке не были представлены проекции на начало XXI-го века. Проекции в Д05 относительно базового периода 1986–2005 гг. и в них использованы новые сценарии репрезентативных траекторий концентраций (РТК) (см. вставку РП.1), если не указано иное. Определения экстремальных метеорологических и климатических явлений см. в Глоссарии.

Явление и направление тренда	Оценка вероятности произошедших изменений (обычно после 1950 г., если не указано иное)	Оценка антропогенного вклада в наблюдаемые изменения	Вероятность дальнейших изменений	
			Начало XXI-го века	Конец XXI-го века
Более теплые дни и ночи и/или меньшее число холодных дней и ночей в большинстве районов суши	Весьма вероятно	{10.6}	{11.3}	{12.4}
	Весьма вероятно <i>Весьма вероятно</i>			
Более теплые дни и ночи и/или более частые теплые дни и ночи в большинстве районов суши	Весьма вероятно	{10.6}	{11.3}	{12.4}
	Весьма вероятно <i>Весьма вероятно</i>			
Теплые периоды/волны тепла. Повторяемость и/или продолжительность возросли в большинстве районов суши	Средняя степень достоверности в глобальном масштабе Вероятно на значительных территориях Европы, Азии и Австралии (2.6)	{10.6}	{11.3}	{12.4}
	Средняя степень достоверности во многих (но не во всех) регионах <i>Вероятно</i>	Официальная оценка не проводилась <i>Скорее вероятно, чем нет</i>	Официальная оценка не проводилась <i>Скорее вероятно, чем нет</i>	Весьма вероятно <i>Весьма вероятно</i>
Случаи сильных осадков. Увеличение повторяемости, интенсивности и/или количества сильных осадков	Вероятно, больше регионов суши с увеличением, чем с уменьшением ^а	{2.6}	{11.3}	{12.4}
	Вероятно, больше регионов суши с увеличением, чем с уменьшением <i>Вероятно над большинством районов суши</i>	Средняя степень достоверности (7.6, 10.6)	Вероятно над многими районами суши	Весьма вероятно над многими регионами суши в средних широтах и над влажными тропическими регионами <i>Весьма вероятно над большинством районов суши</i>
Увеличение интенсивности и/или продолжительности засухи	Низкая степень достоверности в глобальном масштабе Вероятно изменения в некоторых регионах ^а	{2.6}	{11.3}	{12.4}
	Средняя степень достоверности в некоторых регионах <i>Вероятно во многих регионах с 1970 г.*</i>	Низкая степень достоверности (10.6)	Низкая степень достоверности	Вероятно (средняя степень достоверности) в масштабах от регионального до глобального ^а
Усиление интенсивной циклонической активности в тропиках	Низкая степень достоверности долгодлечных (вековых) изменений. Практически вероятно в Северной Атлантике с 1970г.	{2.6}	{11.3}	{14.6}
	Низкая степень достоверности <i>Вероятно в некоторых регионах с 1970 г.</i>	Низкая степень достоверности (10.6)	Низкая степень достоверности	Скорее вероятно, чем нет , в некоторых бассейнах <i>Вероятно</i>
Увеличение количества случаев и/или величин экстремально высокого уровня моря	Вероятно (с 1970 г.) Вероятно (конец XX-го века) <i>Вероятно</i>	{3.7}	{13.7}	{13.7}
		Вероятно* <i>Скорее вероятно, чем нет*</i>	Вероятно ^а <i>Вероятно</i>	Весьма вероятно <i>Весьма вероятно*</i>

* Прямое сравнение результатов оценок, содержащихся в документах, является затруднительным. Для некоторых климатических переменных оценивались различные характеристики, и для СДЭБ и Д05 использовались переработанные руководство по неопределенностям. Наличие новой информации, более глубокое научное понимание, постоянные анализы данных и моделей и конкретные различия в методологиях, применяемых в оцениваемых исследованиях – все эти факторы внесли вклад в уточнение оценок.

Примечания:

- Объяснения основаны на имеющихся тематических исследованиях. **Вероятно**, что антропогенное влияние более чем в два раза повысило вероятность появления волн тепла, наблюдаемых в некоторых регионах.
- Модели прогнозируют увеличение в ближайшей перспективе продолжительности, интенсивности и пространственной протяженности волн тепла и теплых периодов.
- По большому количеству регионов степень достоверности трендов является не выше *средней*, за исключением Северной Америки и Европы, где были, **вероятно**, увеличения либо потепления, либо потепления и увеличения интенсивности сильных осадков с определенными сезонными и/или региональными колебаниями. **Весьма вероятно**, что наблюдалось их увеличение в центральной части Северной Америки.
- В Д04 была сделана оценка затронутых засушливых районов.
- В СДЭБ сделана оценка затронутых засушливых районов.
- СДЭБ оценил степень достоверности как *низкую* в определении причин изменений параметров засухи в масштабе отдельных влажных регионов.
- Прогнозируемые изменения во влажности почвы характеризуются **низкой степенью достоверности**.
- Прогнозируемые изменения во влажности почвы и более суровые сельскохозяйственные засухи в масштабе от регионального до глобального до **вероятно** (средняя степень достоверности) в засушливых в настоящее время регионах к концу этого века (согласно сценарию РТК8.5). Уменьшение влажности почвы в средиземноморском регионе, юго-западной части США и южных районах Африки согласуется с прогнозируемыми изменениями циркуляции Гадлера и повышением приземных температур, и, таким образом, существует **высокая степень достоверности** относительно **вероятного** высыхания почв в этих регионах к концу столетия (согласно сценарию РТК8.5).
- Существует **средняя степень достоверности** в отношении того, что уменьшение воздействия аэрозоль над Северной Атлантикой способствовало, по меньшей мере частично, наблюдаемому усилению активности тропических циклонов в этом регионе с 1970-х годов.
- Основано на экспертном заключении и оценке проекций, в которых использовался сценарий СДЭБ А1В (или аналогичный).
- Объяснение основано на тесной связи между наблюдаемыми изменениями экстремально высокого и среднего уровня моря.
- Существует **высокая степень достоверности** относительно того, что такое повышение экстремально высокого уровня моря будет в первую очередь являться результатом повышения среднего уровня моря. Существует **низкая степень достоверности** относительно проекций штормовой активности и связанных с ней штормовых нагонов в конкретных регионах.
- СДЭБ оценил как **весьма вероятно** возможность того, что повышение среднего уровня моря будет способствовать будущим положительным трендам изменений максимальной высоты подъема прибрежных уровней моря во время приливов.

Наблюдаемые изменения годового количества осадков над сушей

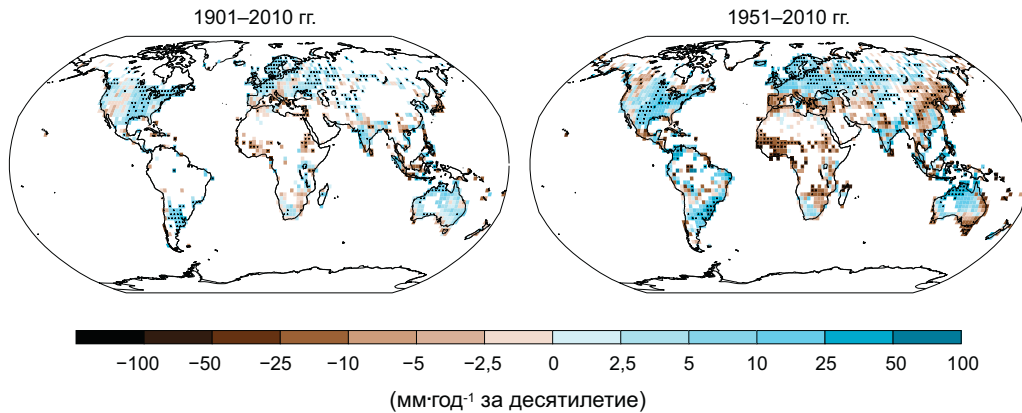


Рисунок РП.2. Карты наблюдаемого изменения количества осадков с 1901 по 2010 гг. и с 1951 по 2010 гг. (тренды ежегодного аккумулирования, рассчитанные с использованием тех же критериев, что и на рисунке РП.1) по одному массиву данных. Более подробную техническую информацию см. в дополнительном материале к Техническому резюме. {ТФЕ.1 ТР, рисунок 2; рисунок 2.29}

В.2 Океан

Повышение температуры океана является главным фактором, способствующим увеличению энергии, содержащейся в климатической системе; на его долю приходится более 90 % энергии, аккумулированной с 1971 по 2010 гг. (высокая степень достоверности). Практически определенно температура верхнего слоя океана (0–700 м) повысилась в период с 1971 по 2010 гг. (см. рисунок РП.3), и, вероятно, повышалась с 1870-х годов по 1971 г. {3.2, вставка 3.1}

- В глобальном масштабе повышение температуры океана было самым значительным вблизи поверхности, и температура в верхних 75 м повышалась на 0,11 [0,09–0,13] °C за десятилетие в период 1971–2010 гг. После выхода Д04 приборные погрешности в данных о температуре верхнего слоя океана были выявлены и уменьшены, в результате чего повысилась достоверность оценки изменения. {3.2}
- Вероятно, что с 1957 по 2009 гг. происходило повышение температуры океана на глубине от 700 до 2 000 м. Имеется достаточно данных наблюдений за период 1992–2005 гг. для глобальной оценки изменения температуры океана ниже 2 000 м. Вероятно, в этот период не наблюдалось никаких существенных трендов температуры на глубине от 2 000 до 3 000 м. Вероятно, что в этот период повысилась температура океана на глубине от 3 000 м до его дна, при этом самое большое повышение температуры наблюдалось в Южном океане. {3.2}
- Более 60 % чистого увеличения энергии в климатической системе наблюдается в верхнем слое океана (0–700 м) в течение 40-летнего периода с 1971 по 2010 гг., который характеризуется относительно большим количеством наблюдений, и около 30 % – на глубине более 700 м. Рост теплосодержания в верхнем слое океана в течение этого периода, оцененный на основе линейного тренда, составляет, вероятно, $17 [15–19] \times 10^{22}$ Дж⁷ (см. рисунок РП.3). {3.2, вставка 3.1}
- Относительно вероятно, что теплосодержание океана на глубине 0–700 м увеличивалось более медленно в 2003–2010 гг., чем в 1993–2002 гг. (см. рисунок РП.3). Поглощение тепла океаном на глубине 700–2 000 м, где межгодовая изменчивость является менее значительной, продолжалось, вероятно, непрерывно с 1993 по 2009 гг. {3.2, вставка 9.2}
- Весьма вероятно, что в регионах с повышенной соленостью, где идет активное испарение, вода стала еще более соленой, в то время как в регионах с низкими показателями солености, где выпадают обильные осадки, она стала еще более пресной после 1950-х годов. Эти региональные тренды в изменении уровня солености океана являются косвенным свидетельством изменения режима испарения и осадков над Мировым океаном (средняя степень достоверности). {2.5, 3.3, 3.5}
- Согласно данным десятилетних наблюдений за всей Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляцией (АМОЦ) и более продолжительных наблюдений за ее отдельными компонентами, в АМОЦ значимый тренд не обнаруживается. {3.6}

В.3 Криосфера

За последние два десятилетия Гренландский и Антарктический ледниковые покровы теряли массу, ледники продолжали сокращаться практически во всем мире, площадь морского льда в Арктике и весеннего снежного покрова в Северном полушарии продолжала уменьшаться (*высокая степень достоверности*) (см. рисунок РП.3). {4.2–4.7}

- Средняя скорость сокращения ледникового покрова⁸ по всему миру, за исключением ледников по периферии ледяных щитов⁹, составляла, *весьма вероятно*, 226 [91–361] Гт·год⁻¹ за период 1971–2009 гг., и, *весьма вероятно*, 275 [140–410] Гт·год⁻¹ за период 1993–2009 гг.¹⁰ {4.3}
- Средняя скорость сокращения массы льда Гренландского ледникового покрова, *весьма вероятно*, значительно увеличилась с 34 [от -6 до 74] Гт·год⁻¹ за период 1992–2001 гг. до 215 [157–274] Гт·год⁻¹ за период 2002–2011 гг. {4.4}
- Средняя скорость сокращения массы льда Антарктического ледникового покрова увеличилась, *вероятно*, с 30 [от -37 до 97] Гт·год⁻¹ в 1992–2001 гг. до 147 [72–221] Гт·год⁻¹ в 2002–2011 гг. С *весьма высокой степенью достоверности* эти потери происходят главным образом в северной части Антарктического полуострова и в секторе моря Амундсена в Западной Антарктике. {4.4}
- Среднегодовое значение площади арктического морского льда уменьшалось в течение 1979–2012 гг. темпами, которые, *весьма вероятно*, находились в диапазоне 3,5–4,1 % за десятилетие (диапазон 0,45–0,51 млн км² за десятилетие), а летний минимум площади арктического морского льда, *весьма вероятно*, сокращался на 9,4–13,6 % за десятилетие (диапазон 0,73–1,07 млн км² за десятилетие) (многолетний морской лед). Среднее сокращение площади арктического морского льда за десять лет было самым быстрым летом (*высокая степень достоверности*); протяженность льда сокращалась во все сезоны и в каждое последующее десятилетие начиная с 1979 г. (*высокая степень достоверности*) (см. рисунок РП.3). Согласно восстановленным данным, имеется *средняя степень достоверности* в отношении того, что за последние три десятилетия отступление арктического летнего морского льда было беспрецедентным, а температуры поверхности моря были аномально высокими за, по меньшей мере, последние 1 450 лет. {4.2, 5.5}
- *Весьма вероятно*, что с 1979 по 2012 гг. среднегодовое значение площади антарктического морского льда увеличивалось со скоростью от 1,2 до 1,8 % за десятилетие (в пределах 0,13–0,20 млн км² за десятилетие). Имеется *высокая степень достоверности* того, что существуют значительные региональные различия в этих среднегодовых темпах, при этом в некоторых регионах эта площадь увеличивается, а в других уменьшается. {4.2}
- С *весьма высокой степенью достоверности* площадь снежного покрова в Северном полушарии сократилась с середины XX-го века (см. рисунок РП.3). Площадь снежного покрова в Северном полушарии сокращалась на 1,6 [0,8–2,4] % за десятилетие в марте и апреле и на 11,7 [8,8–14,6] % за десятилетие в июне в период 1967–2012 гг. В течение этого периода статистически значимого увеличения площади снежного покрова в Северном полушарии ни в одном месяце не отмечалось. {4.5}
- С *высокой степенью достоверности* температуры вечной мерзлоты повысились в большинстве регионов с начала 1980-х годов. Отмечалось повышение температуры до 3 °C в северных частях Аляски (начало 1980-х – середина 2000-х годов) и до 2 °C на севере европейской части России (1971–2010 гг.). В последнем регионе в период 1975–2005 гг. наблюдалось значительное уменьшение толщины слоя вечной мерзлоты и занятой ею площади (*средняя степень достоверности*). {4.7}
- Многочисленные научные данные свидетельствуют о весьма существенном потеплении в Арктике с середины XX-го века. {Вставка 5.1, 10.3}

⁸ Все ссылки на «потерю льда» или «потерю массы» означают чистое сокращение ледяного покрова, т. е. образование минус таяние и откалывание айсбергов.

⁹ По причинам методологического характера эта оценка сокращения ледяных щитов Антарктики и Гренландии включает изменение окраинных ледников. Поэтому окраинные ледники не включены в данные, приведенные для ледников.

¹⁰ Сокращение ледяного покрова на 100 Гт·год⁻¹ приблизительно эквивалентно повышению среднего глобального уровня моря на 0,28 мм·год⁻¹.

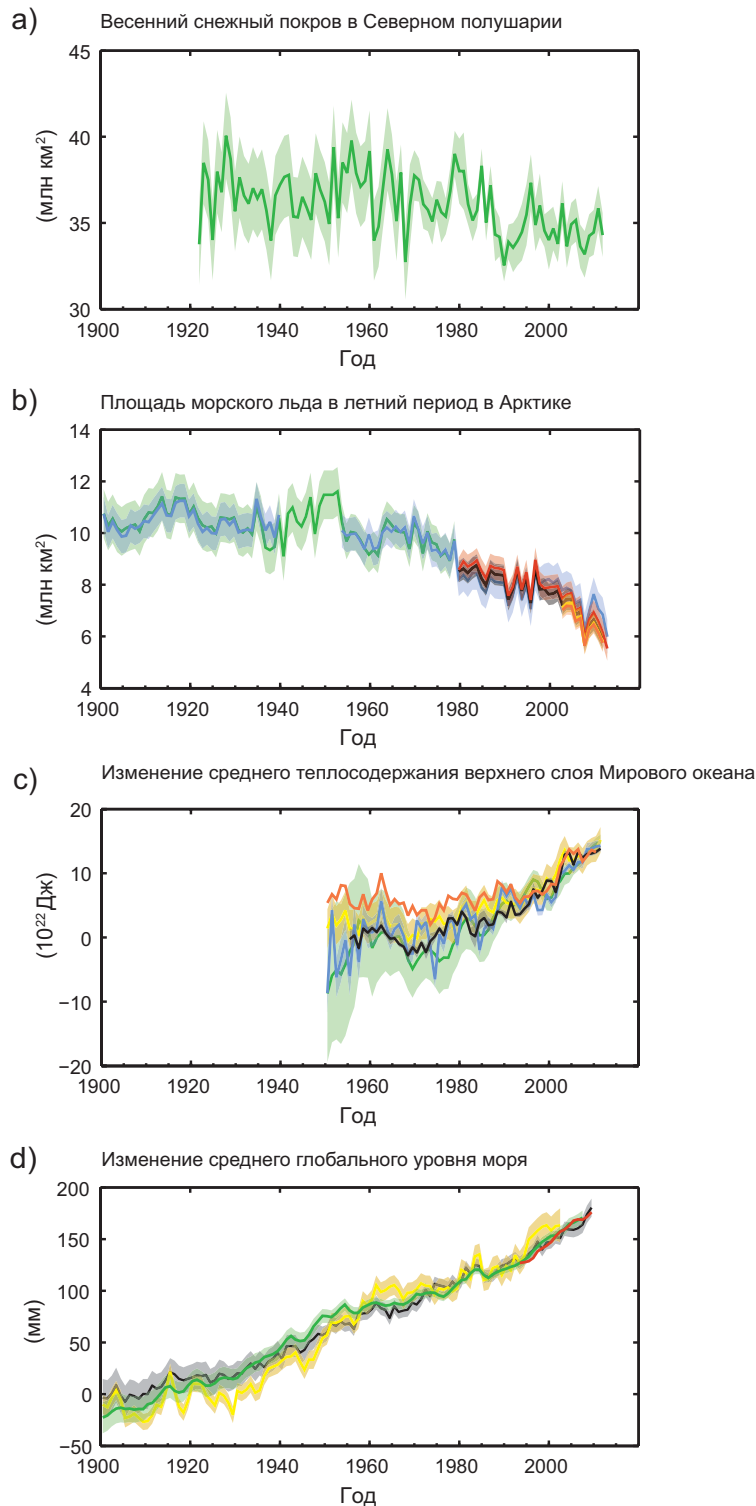


Рисунок РП.3. Многочисленные наблюдаемые показатели изменения глобального климата: а) среднее значение площади снежного покрова в Северном полушарии в марте-апреле (весна); б) среднее значение площади морского льда в Арктике в июле-августе-сентябре (лето); в) изменение среднего показателя теплосодержания в верхнем слое Мирового океана (0–700 м), откалиброванного по данным 2006–2010 гг. и по сравнению со средним значением по всем массивам данных за 1970 г.; г) глобальный средний уровень моря по сравнению со средним значением за 1900–1905 гг. по данным долгопериодных данных наблюдений при калибровке всех массивов данных таким образом, чтобы у них совпадали значения за 1993 г. – первый год получения данных спутниковой альтиметрии. Все динамические ряды (цветные линии, обозначающие различные массивы данных) показывают годовые значения, а в случае оценок неопределенность показана цветным затенением. Список массивов данных см. в дополнительном материале к Техническому резюме. {Рисунки 3.2, 3.13, 4.19 и 4.3; ЧЗВ 2.1, рисунок 2; рисунок ТР.1}

В.4 Уровень моря

Темпы повышения уровня моря с середины XIX-го века превысили средние темпы за предыдущие два тысячелетия (*высокий уровень достоверности*). За период 1901–2010 гг. средний глобальный уровень моря повысился на 0,19 [0,17–0,21] м (см. рисунок РП.3). {3.7, 5.6, 13.2}

- Косвенные данные и данные измерений уровня моря свидетельствуют о переходе в конце XIX-го – начале XX-го века от относительно низких средних темпов повышения, наблюдавшихся в последние два тысячелетия, к более высоким (*высокий уровень достоверности*). Вероятно, что темпы повышения среднего глобального уровня моря продолжали увеличиваться с начала XX-го века. {3.7, 5.6, 13.2}
- *Весьма вероятно*, что средняя скорость повышения глобального среднего уровня моря составляла 1,7 [1,5–1,9] мм-год⁻¹ в 1901–2010 гг., 2,0 [1,7–2,3] мм-год⁻¹ в 1971–2010 гг. и 3,2 [2,8–3,6] мм-год⁻¹ в 1993–2010 гг. Данные с мареографов и спутниковых альтиметров подтверждают более высокие темпы повышения за последний период. Вероятно, что аналогичные высокие темпы наблюдались в 1920–1950 гг. {3.7}
- С начала 1970-х годов сокращение массы ледников и тепловое расширение океана в результате потепления, вместе взятые, почти на 75 % объясняют наблюдаемое повышение среднего глобального уровня моря (*высокая степень достоверности*). Повышение среднего глобального уровня моря на протяжении 1993–2010 гг. с *высокой степенью достоверности* обусловлено совокупностью наблюдаемых факторов: тепловое расширение океана в результате потепления (1,1 [0,8–1,4] мм-год⁻¹), изменения ледников (0,76 [0,39–1,13] мм-год⁻¹), ледяного щита Гренландии (0,33 [0,25–0,41] мм-год⁻¹), ледяного щита Антарктики (0,27 [0,16–0,38] мм-год⁻¹) и запасов вод суши (0,38 [0,26–0,49] мм-год⁻¹). Суммарное значение вклада этих факторов составляет 2,8 [2,3–3,4] мм-год⁻¹. {13.3}
- Существует *весьма высокая степень достоверности* в отношении того, что максимальное значение среднего глобального уровня моря в последнем межледниковом периоде (от 129 000 до 116 000 лет назад) на протяжении нескольких тысяч лет было по меньшей мере на 5 м выше сегодняшнего показателя, и с *высокой степенью достоверности* оно превышало нынешний уровень не больше чем на 10 м. В последний межледниковый период ледяной щит Гренландии способствовал, *весьма вероятно*, повышению уровня Мирового океана на 1,4–4,3 м, при этом дополнительному повышению со *средней степенью достоверности* способствовал ледяной щит Антарктики. Это изменение уровня моря произошло на фоне различных воздействий колебаний орбитальных характеристик Земли и с учетом того, что приземная температура в высоких широтах, усредненная за несколько тысяч лет, была по меньшей мере на 2 °C выше ее сегодняшнего значения (*высокая степень достоверности*). {5.3, 5.6}

В.5 Углеродный и другие биогеохимические циклы

Концентрации двуокиси углерода, метана и оксидов азота в атмосфере выросли до уровней, являющихся беспрецедентными по меньшей мере за последние 800 000 лет. Концентрации двуокиси углерода увеличились на 40 % с доиндустриального периода, в первую очередь за счет выбросов от сжигания ископаемого топлива, и, во-вторых, за счет нетто-выбросов в результате изменений в землепользовании. На поглощение океаном приходится около 30 % антропогенных выбросов двуокиси углерода, что приводит к подкислению океана (см. рисунок РП.4). {2.2, 3.8, 5.2, 6.2, 6.3}

- Атмосферные концентрации таких парниковых газов, как двуокись углерода (CO₂), метан (CH₄) и оксид азота (N₂O), увеличились с 1750 г. в результате деятельности человека. В 2011 г. концентрации этих парниковых газов составляли 391 ppm¹¹, 1803 ppb и 324 ppb и превышали доиндустриальные уровни приблизительно на 40, 150 и 20 % соответственно. {2.2, 5.2, 6.1, 6.2}
- В настоящее время концентрации CO₂, CH₄ и N₂O значительно превышают самые высокие концентрации, обнаруживаемые в кернах льда за последние 800 000 лет. Средние темпы повышения атмосферных концентраций за последнее столетие являются, с *весьма высокой степенью достоверности*, беспрецедентными за последние 22 000 лет. {5.2, 6.1, 6.2}

¹¹ ppm (частей на миллион) или ppb (частей на миллиард, 1 млрд = 1 000 млн) – это отношение числа молекул газа к общему числу молекул сухого воздуха. Например, 300 ppm означает 300 молекул газа на миллион молекул сухого воздуха.

- Годовые выбросы CO₂, связанные с сжиганием ископаемого топлива и производством цемента, составляли в среднем 8,3 [7,6–9,0] ГтУ¹²·год⁻¹ в 2002–2011 гг. (*высокая степень достоверности*) и 9,5 [8,7–10,3] ГтУ·год⁻¹ в 2011 г., т. е. были на 54 % выше уровня 1990 г. Чистая годовая эмиссия CO₂ в результате изменений в антропогенном землепользовании составляла в среднем 0,9 [0,1–1,7] ГтУ·год⁻¹ в период 2002–2011 гг. (*средняя степень достоверности*). {6.3}
- С 1750 по 2011 гг. в результате сжигания ископаемого топлива и производства цемента в атмосферу высвободилось 375 [345–405] ГтУ, при этом выбросы, связанные с обезлесиванием и другими изменениями в землепользовании, оцениваются в 180 [100–260] ГтУ. Таким образом, совокупная антропогенная эмиссия составила 555 [470–640] ГтУ. {6.3}
- Из этой совокупной антропогенной эмиссии CO₂ 240 [230–250] ГтУ накоплено в атмосфере, 155 [125–185] ГтУ поглощено океаном и 160 [70–250] ГтУ аккумулировано в природных экосистемах суши (т. е. совокупное остаточное поглощение почвой). {Рисунок ТР.4, 3.8, 6.3}
- Количественным показателем подкисления океана является снижение pH¹³. С начала индустриальной эры pH поверхностного слоя океана снизился на 0,1 (*высокая степень достоверности*), что соответствует повышению концентрации ионов водорода на 26 % (см. рисунок РП.4). {3.8, вставка 3.2}

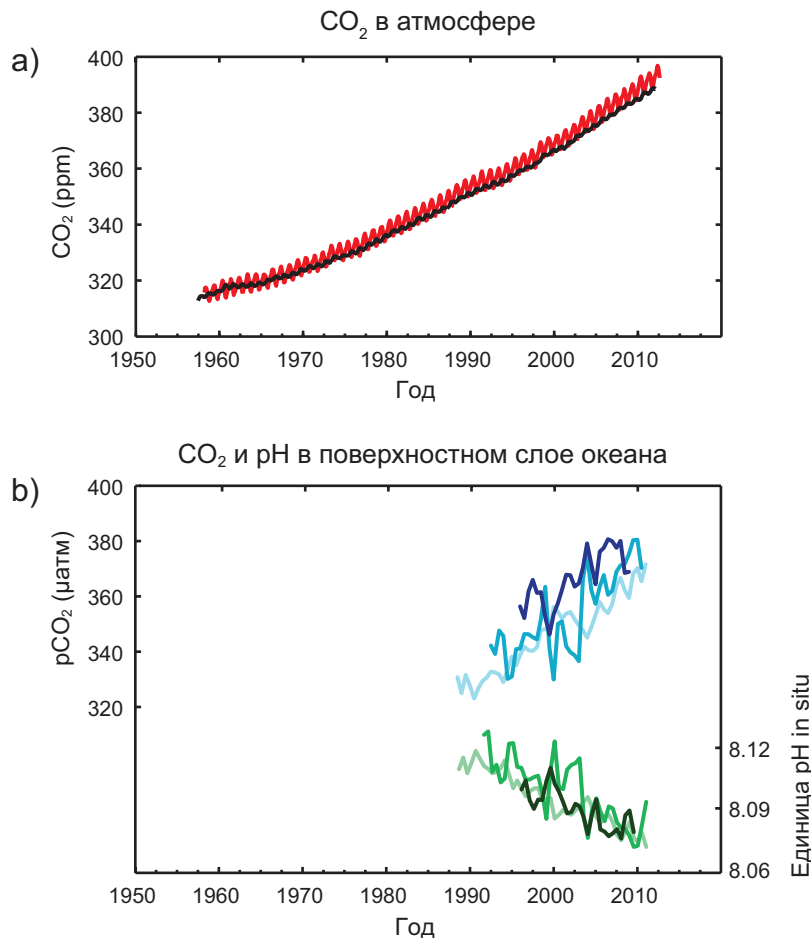


Рисунок РП.4. Многочисленные наблюдаемые показатели изменяющегося глобального углеродного цикла: а) атмосферная концентрация двуокси углерода (CO₂) по данным обсерватории «Мауна Лоа» (19°32' с. ш., 155°34' з. д. – красный цвет) и на Южном полюсе (89°59' с. ш., 24°48' з. д. – черный) с 1958 г.; б) парциальное давление растворенного CO₂ на поверхности океана (синие кривые) и pH по месту нахождения (зеленые кривые) – мера подкисления океанской воды. Данные измерений с трех станций в Атлантическом (29°10' с. ш., 15°30' з. д. – темно-синий/темно-зеленый цвет; 31°40' с. ш., 64°10' з. д. – синий/зеленый) и Тихом (22°45' с. ш., 158°00' з. д. – светло-синий/светло-зеленый) океанах. Полная информация о показанных здесь массивах данных приводится в лежащем в основе данного Резюме докладе и в дополнительном материале к Техническому резюме. {Рисунки 2.1 и 3.18; рисунок ТР.5}

¹² 1 гигатонна углерода = 1 ГтУ = 10¹⁵ граммов углерода. Это соответствует 3,667 ГтCO₂.

¹³ pH является мерой кислотности по логарифмической шкале: снижение pH на одну единицу соответствует десятикратному повышению концентрации ионов водорода, или кислотности.

С. Факторы, влияющие на изменение климата

Факторами, влияющими на изменение климата, являются природные и антропогенные вещества и процессы, которые изменяют энергетический баланс Земли. Если не указано иное, радиационное воздействие¹⁴ (РВ) является количественным показателем изменения энергетических потоков, вызванного изменением этих факторов к 2011 г. по сравнению с 1750 г. Положительное значение РВ ведет к повышению температуры поверхности, а отрицательное – к ее понижению. РВ оценивается на основе данных наблюдений, осуществляемых на месте, и дистанционного зондирования, свойств парниковых газов и аэрозолей, а также расчетов с использованием численных моделей, описывающих наблюдаемые процессы. Некоторые выбрасываемые соединения влияют на концентрации других соединений в атмосфере. Информация по РВ может быть представлена на основе изменения концентрации каждого из веществ¹⁵. В качестве альтернативы могут сообщаться данные о РВ, основанном на совокупности эмиссий и лучше отражающем непосредственный эффект человеческой деятельности. Такое РВ включает вклад всех веществ, затронутых данными эмиссиями. При учете всех факторов эмиссий, общее антропогенное РВ в обоих подходах идентично. Хотя в настоящем Резюме для политиков используются оба подхода, особое внимание уделяется РВ на основе совокупности эмиссий.

Суммарное радиационное воздействие является положительным и привело к поглощению энергии климатической системой. Самый значительный вклад в суммарное радиационное воздействие вносит повышение концентрации CO₂ в атмосфере с 1750 г. (см. рисунок РП.5). {3.2, вставка 3.1, 8.3, 8.5}

- Отношение значения совокупного антропогенного РВ за 2011 г. к значению за 1750 г. составляет 2,29 [1,13–3,33] Вт·м⁻² (см. рисунок РП.5), и с 1970 г. оно росло более быстрыми темпами, чем в предыдущие десятилетия. Согласно наилучшей оценке совокупного антропогенного РВ за 2011 г., оно на 43 % выше показателя 2005 г., о котором сообщалось в ДО4. Это объясняется сочетанием продолжающегося роста концентраций большинства парниковых газов и более точными оценками РВ, вызываемого аэрозолями, которые показывают более слабый чистый охлаждающий эффект (отрицательное РВ). {8,5}
- Отношение значения РВ, связанного с выбросами идеально перемешанных парниковых газов (CO₂, CH₄, N₂O и галоидоуглеводороды), за 2011 г. к значению за 1750 г. равно 3,00 [2,22 к 3,78] Вт·м⁻² (см. рисунок РП.5). Показатель РВ в результате изменений концентраций этих газов равен 2,83 [2,26–3,40] Вт·м⁻². {8,5}
- Только от выбросов CO₂ РВ равно 1,68 [1,33–2,03] Вт·м⁻² (см. рисунок РП.5). С учетом эмиссии других углеродсодержащих газов, которые также способствовали повышению концентраций CO₂, РВ от CO₂ составляет 1,82 [1,46–2,18] Вт·м⁻². {8,3, 8,5}
- Только от выбросов CH₄ РВ равно 0,97 [0,74–1,20] Вт·м⁻² (см. рисунок РП.5). Это значительно больше, чем оценка, основанная на данных о концентрации и составляющая 0,48 [0,38–0,58] Вт·м⁻² (без изменения после ДО4). Это различие в оценках объясняется изменением концентрации озона и водяного пара в стратосфере, связанное с выбросами CH₄ и другими выбросами, косвенно влияющими на CH₄. {8,3,8,5}
- Выбросы галоидоуглеводородов, вызывающих истощение стратосферного озонового слоя, обусловили чистое положительное РВ в 0,18 [0,01-0,35] Вт·м⁻² (см. рисунок РП.5). Их собственное положительное РВ перевешивает отрицательное РВ вызываемого ими истощения озонового слоя. Положительное значение РВ от всех галоидоуглеводородов равно значению, приведенному в ДО4, при этом РВ от ХФУ уменьшается, но повышается от множества их заменителей. {8,3,8,5}
- В совокупное антропогенное РВ вносят свой вклад выбросы короткоживущих газов. Выбросы монооксида углерода (СО) практически определенно имеют положительное РВ, в то время как выбросы оксидов азота (NO_x) имеют, вероятно, чистое отрицательное РВ (см. рисунок РП.5). {8,3,8,5}

¹⁴ Степень влияния факторов количественно оценивается как радиационное воздействие (РВ) в ваттах на квадратный метр (Вт·м⁻²), как и в предыдущих оценках МГЭИК. РВ – это изменение энергетических потоков, вызванное каким-либо фактором, и рассчитывается в тропопаузе или в верхних слоях атмосферы. В традиционной концепции РВ, использовавшейся в предыдущих докладах МГЭИК, подразумевается, что все поверхностные и тропосферные условия неизменны. В настоящем докладе в расчетах РВ для идеально перемешанных парниковых газов и аэрозолей допускается, что физические переменные, кроме океанского и морского льда, могут быстро приспосабливаться к возмущениям. В докладе, лежащем в основе настоящего РП, итоговое РВ называется эффективным радиационным воздействием (ЭРВ). Такое изменение отражает научный прогресс, достигнутый со времени предыдущих оценок, и позволяет лучше отражать постепенный температурный отклик на действие этих факторов. Для всех факторов, кроме идеально перемешанных парниковых газов и аэрозолей, быстрое приспособление не столь характерно и считается незначительным, и в этой связи используется традиционное РВ. {8,1}

¹⁵ Этот подход использовался для представления информации о РВ в Резюме для политиков ДО4.

- РВ от суммарного аэрозольного эффекта в атмосфере, которое включает воздействие аэрозолей на облака, составляет $-0,9$ [от $-1,9$ до $-0,1$] $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ (*средняя степень достоверности*), и является результатом отрицательного воздействия большинства аэрозолей и положительного вклада поглощения солнечной радиации техническим углеродом. Существует *высокая степень достоверности* в отношении того, что аэрозоли и их взаимодействие с облаками нивелируют значительную часть глобального среднего воздействия идеально перемешанных парниковых газов. Они продолжают вносить самую большую неопределенность в оценку совокупного РВ. {7.5, 8.3,8.5}
- Воздействие стратосферных вулканических аэрозолей может в значительной мере влиять на климат в течение ряда лет после извержений вулканов. От нескольких небольших извержений РВ в период 2008–2011 гг. составило $-0,11$ [от $-0,15$ до $-0,08$] $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$, что приблизительно в два раза больше, чем в 1999–2002 гг. {8.4}
- РВ от изменений в потоке солнечного излучения оценивается в $0,05$ [0,00-0,10] $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ (см. рисунок РП.5). Данные спутниковых наблюдений за изменениями суммарного солнечного излучения с 1978 по 2011 гг. показывают, что последний минимум был ниже двух предыдущих. Результатом этого является РВ в $-0,04$ [от $-0,08$ до $0,00$] $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ за период между последним минимумом в 2008 г. и минимумом в 1986 г. {8.4}
- Совокупное естественное РВ, связанное с изменениями в потоке солнечного излучения и стратосферных вулканических аэрозолей, внесло лишь незначительный вклад в чистое радиационное воздействие за последнее столетие, за исключением коротких периодов после крупных извержений вулканов. {8.5}

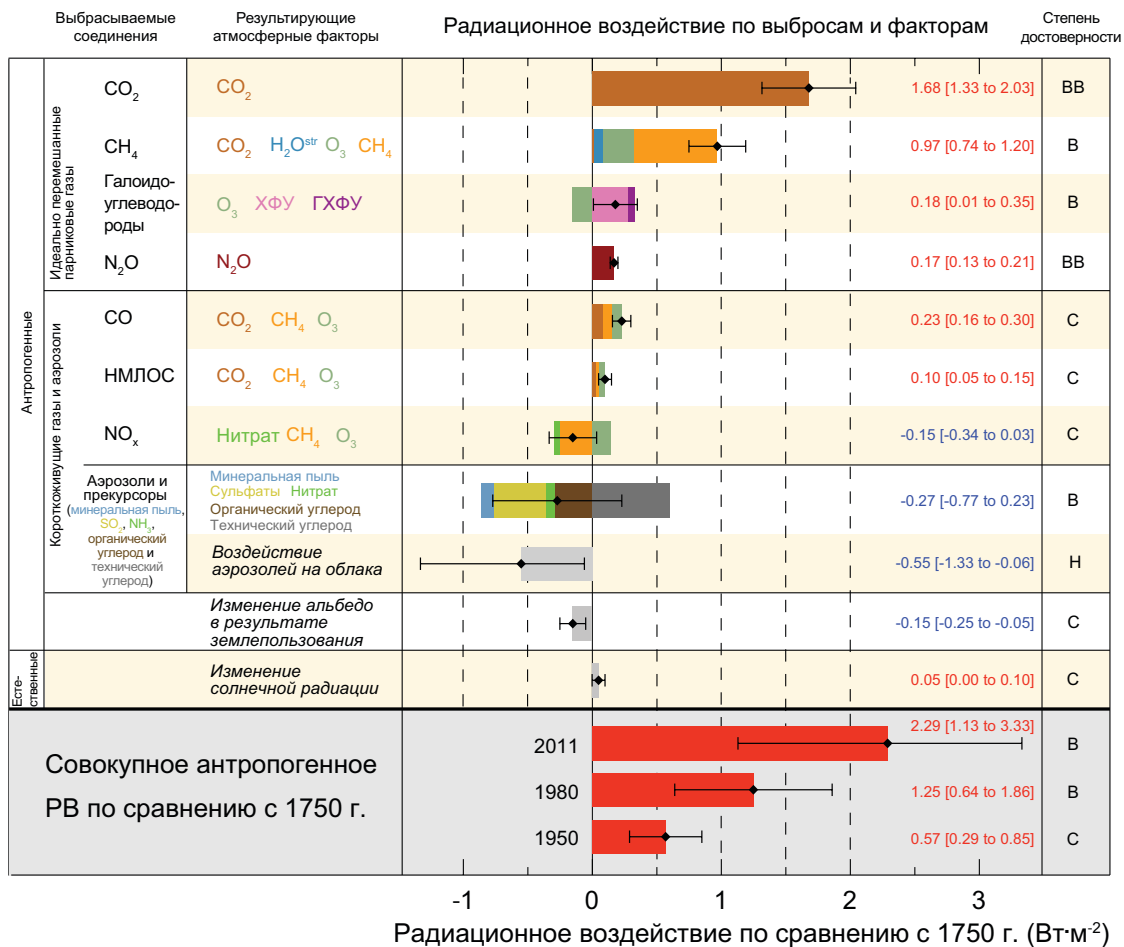


Рисунок РП.5. Оценки радиационного воздействия в 2011 г. по сравнению с 1750 г. и агрегированные неопределенности основных факторов изменения климата. Значения показывают глобальное среднее радиационное воздействие (РВ¹⁴) в разбивке по выбрасываемым соединениям или процессам, что дает комбинацию факторов. Наилучшие оценки чистого радиационного воздействия показаны черными ромбами с соответствующими интервалами неопределенности; численные значения приводятся в правой части рисунка, наряду со степенью достоверности чистого воздействия (BB – *весьма высокая*, B – *высокая*, C – *средняя*, H – *низкая*, BH – *весьма низкая*). Воздействие, обусловленное снижением альbedo из-за технического углерода на снегу и льду, включен в «полоску» аэрозолей и технического углерода. Незначительные воздействия от конденсационного следа ($0,05 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$, включая порожденные им перистые облака), а также ФУ, ПФУ и SF₆ (в общей сложности $0,03 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$) не показаны. РВ по газам с учетом их концентраций могут быть получены путем суммирования параметров «полосок» одного цвета. Вулканическое воздействие не учитывается, поскольку его эпизодический характер затрудняет сравнение с другими механизмами воздействия. Значения совокупного антропогенного радиационного воздействия предоставляются за три разных года в сопоставлении с 1750 г. Более подробная техническая информация, включая диапазоны неопределенности по отдельным компонентам и процессам, приведена в дополнительном материале к Техническому резюме. {8.5; рисунки 8.14-8.18; рисунки ТР.6 и ТР.7}

D. Понимание климатической системы и ее недавних изменений

Понимание недавних изменений климатической системы основывается на сочетании наблюдений, изучения обратных связей и моделировании. Оценка способности климатических моделей воспроизводить недавние изменения требует учета состояния всех компонентов моделируемой климатической системы в начале моделирования, а также естественных и антропогенных воздействий, используемых в расчетах. Более подробные и продолжительные, по сравнению с Д04, наблюдения и усовершенствованные климатические модели позволяют в настоящее время обнаруживать антропогенное влияние в наблюдаемых изменениях в большем числе компонентов климатической системы.

Влияние человека на климатическую систему очевидно. О нем свидетельствуют увеличение концентраций парниковых газов в атмосфере, положительное радиационное воздействие, наблюдаемое потепление и общее понимание климатической системы. {2–14}

D.1 Оценка климатических моделей

За время, прошедшее после Д04, климатические модели были усовершенствованы. Модели в масштабах континентов воспроизводят наблюдаемые в течение многих десятилетий тренды и структуры изменений приземной температуры, в том числе более быстрое потепление, отмечаемое с середины XX-го века, и похолодание, немедленно следующее за крупными извержениями вулканов (*весьма высокая степень достоверности*). {9.4, 9.6, 9.8}

- Долгосрочные расчеты по климатическим моделям показывают тренд средней глобальной приземной температуры с 1951 по 2012 гг., совпадающий с данными наблюдений (*весьма высокая степень достоверности*). Имеются, однако, различия между модельными и наблюдаемыми трендами за короткие периоды от 10 до 15 лет (например, 1998–2012 гг.). {9.4, вставка 9.2}
- Наблюдаемое в 1998–2012 гг. ослабление тренда повышения приземной температуры по сравнению с периодом 1951–2012 гг. приблизительно в равной мере обусловлено ослаблением тренда радиационного воздействия и охлаждением в силу естественной внутренней изменчивости, включая возможное перераспределение тепла в океане (*средняя степень достоверности*). Ослабление тренда радиационного воздействия объясняется в первую очередь извержениями вулканов и нисходящей фазой 11-летнего солнечного цикла. В то же время существует *низкая степень достоверности* количественной оценки роли, которую играют изменения радиационного воздействия в ослаблении тренда потепления. Со *средней степенью достоверности* естественная внутренняя десятилетняя изменчивость в значительной мере приводит к различиям, отмечаемым между данными наблюдений и модельными расчетами, которые не предназначены для воспроизведения временных характеристик внутренней изменчивости. Помимо этого, свой вклад могут вносить несоответствия во внешних воздействиях, а в некоторых моделях – переоценка реакции на рост концентрации парниковых газов и другие антропогенные воздействия (при доминирующем влиянии аэрозолей). {9.4, вставка 9.2, 10.3, вставка 10.2, 11.3}
- Уверенность в способности моделей воспроизводить приземную температуру на региональном уровне ниже, чем в более крупных масштабах. Однако существует *высокая степень доверенности* в отношении того, что результаты моделирования региональной приземной температуры сейчас лучше, чем во время публикации Д04. {9.4, 9.6}
- Со времени выпуска Д04 был достигнут существенный прогресс в оценке экстремальных метеорологических и климатических явлений. Как правило, данные наблюдений совпадают с результатами моделирования средних глобальных трендов повторяемости экстремально теплых и экстремально холодных дней и ночей во второй половине XX-го века. {9.5}
- За период после Д04 несколько улучшилось моделирование осадков в континентальном масштабе. На региональном уровне моделирование осадков не является столь же успешным, а их оценка затрудняется неопределенностями в данных наблюдений. {9.4, 9.6}
- В настоящее время модели более точно воспроизводят ряд важных климатических явлений. Существует *высокая степень достоверности* в отношении того, что после Д04 повысилось качество статистики по муссонам и явлению Эль-Ниньо/Южное Колебание (ЭНСО), основанных на многомодельных расчетах. {9.5}

- Климатические модели включают сейчас больше процессов, связанных с облаками и аэрозолями, а также с их взаимодействием по сравнению со временем подготовки ДО4, однако *достоверность* представления и количественных характеристик этих процессов в моделях остается *низкой*. {7.3, 7.6, 9.4, 9.7}
- Имеются надежные свидетельства того, что сейчас большее количество моделей воспроизводят нисходящий тренд площади летнего морского льда в Арктике с 1979 г., чем во время ДО4, при этом около четверти моделей показывают столь же значительный или более выраженный тренд, что и в данных наблюдений. Большинство моделей показывают небольшой нисходящий тренд площади антарктического морского льда, хотя и при значительном межмодельном разбросе, что контрастирует с незначительным восходящим трендом, демонстрируемым данными наблюдений. {9.4}
- Многие модели воспроизводят данные наблюдений об изменении теплосодержания верхних слоев океана (0–700 м) с 1961 по 2005 гг. (*высокая степень достоверности*), причем на протяжении большей части этого периода средние по ансамблю моделей оценки попадают в диапазон оценок, основанных на наблюдениях. {9.4}
- Климатические модели, которые включают углеродный цикл (модели системы Земля), воспроизводят глобальную структуру потоков CO₂ между океаном и атмосферой, при этом выделение газа происходит в тропиках, а поглощение – в средних и высоких широтах. В большинстве этих моделей масштабы воспроизводимых глобальных поглотителей углерода на суше и в океане за последнюю часть XX-го века находятся в диапазоне оценок, основанных на данных наблюдений. {9.4}

D.2 Количественная оценка реакции климатической системы

Основанное на данных наблюдений и результатах моделирования изучение изменений температуры, обратных связей в климатической системе и изменений энергетического баланса Земли в своей совокупности дают уверенность в отношении масштабов глобального потепления, которое является реакцией на прошлые и будущие воздействия. {Вставка 12.2, вставка 13.1}

- Общее обратное воздействие от суммарного эффекта, производимого изменениями водяного пара и различиями между атмосферным и приповерхностным потеплением, *чрезвычайно вероятно*, является положительным и поэтому усугубляет изменение климата. Общий радиационный отклик, обусловленный всеми типами облаков, является, *вероятно*, положительным. Неопределенность в отношении знака и величины облачных обратных связей объясняется главным образом остающимися неопределенностями, касающимися воздействия потепления на нижние облака. {7.2}
- Равновесная чувствительность климата количественно характеризует реакцию климатической системы на постоянное радиационное воздействие на протяжении многих столетий. Она определяется как изменение средней глобальной приземной температуры в состоянии равновесия, вызываемое удвоением концентрации CO₂ в атмосфере. Равновесная чувствительность климата находится, *вероятно*, в диапазоне 1,5–4,5 °C (*высокая степень достоверности*), *крайне маловероятно*, что она менее 1 °C (*высокая степень достоверности*), и *очень маловероятно*, что она более 6 °C (*средняя степень достоверности*)¹⁶. Таким образом, в ДО4 нижняя граница *оцениваемого* вероятного диапазона температур ниже, чем 2 °C, однако верхняя граница является такой же. Эта оценка получена благодаря более четкому пониманию, более продолжительным наблюдениям за температурой атмосферы и океана, а также новым оценкам радиационного воздействия. {TFE.6 TP, рисунок 1; вставка 12.2}
- Скорость и масштабы глобального изменения климата обуславливаются радиационным воздействием, климатическими обратными связями и накоплением энергии климатической системой. Количественные оценки этих факторов за последние десятилетия соответствуют оценкам *вероятного* диапазона равновесной чувствительности климата с учетом оценок неопределенностей, что является веским подтверждением нашего понимания процесса антропогенного изменения климата. {Вставка 12.2, вставка 13.1}
- Переходная реакция климата дает количественную характеристику реакции климатической системы на усиление радиационного воздействия во временном диапазоне от десяти до ста лет. Она определяется как изменение средней глобальной приземной температуры на момент удвоения концентрации CO₂ в атмосфере в сценарии, предусматривающем повышение концентрации на 1 % в год. Переходная реакция климата находится, *вероятно*, в диапазоне 1,0–2,5 °C (*высокая степень достоверности*) и *крайне маловероятно* более 3 °C. {Вставка 12.2}

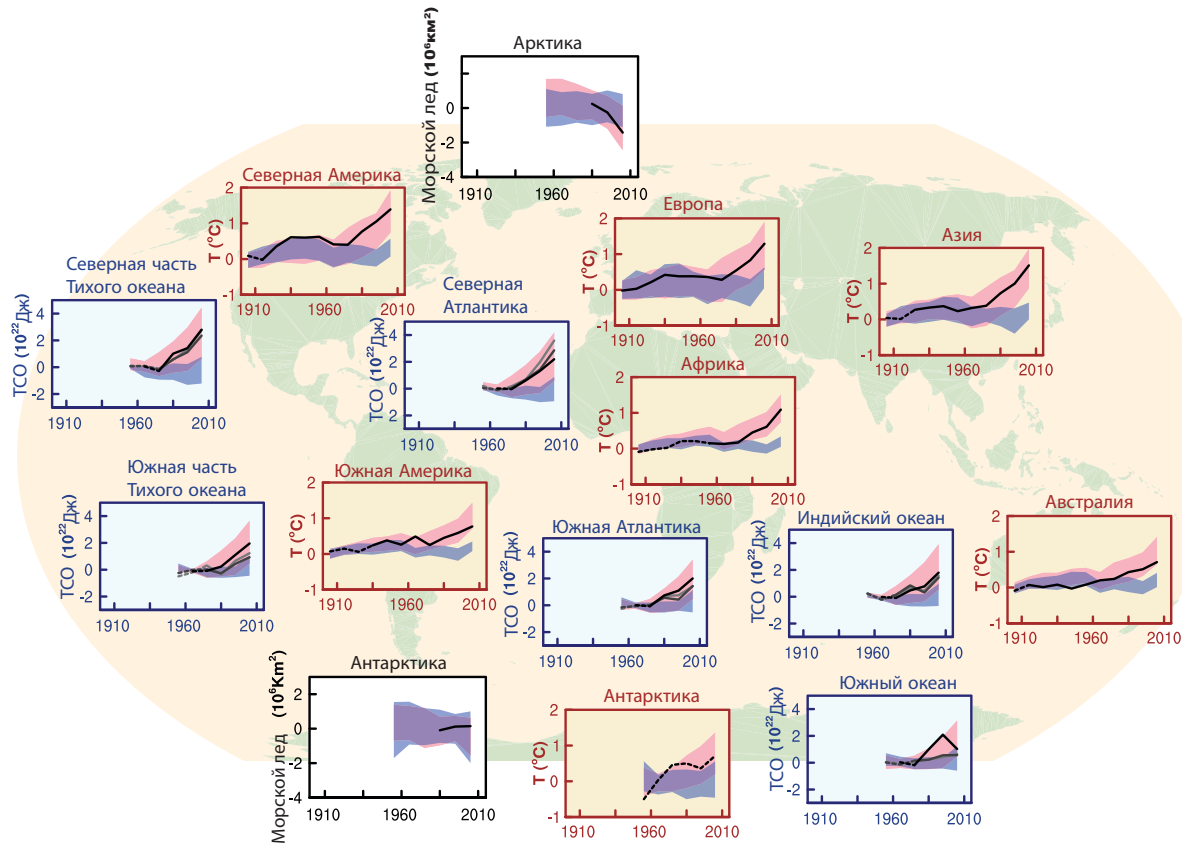
¹⁶ В настоящее время невозможна наилучшая оценка равновесной чувствительности климата из-за отсутствия согласия в отношении оцениваемых фактических данных и данных исследований.

- Близкая количественная характеристика – переходная реакция климата на совокупные выбросы углерода (ПРКВ). Она представляет в количественном виде переходную реакцию климатической системы на суммарные выбросы углерода (см. раздел Е.8). ПРКВ определяется как изменение средней глобальной приземной температуры на 1 000 ГтУ, выброшенных в атмосферу. ПРКВ находится, *вероятно*, в диапазоне 0,8–2,5 °С на 1 000 ГтУ и применима к совокупным выбросам до примерно 2 000 ГтУ, пока не будет достигнут пик температур (см. рисунок РП.10). {12.5, вставка 12.2}
- Для сравнения вкладов выбросов различных веществ в изменение климата могут использоваться различные метрики. Наиболее подходящие метрики и временной интервал будут зависеть от того, какие аспекты изменения климата являются наиболее важными для конкретных целей. Не существует единой системы показателей для точного сравнения всех последствий различных выбросов, все метрики имеют ограничения и неопределенности. Потенциал глобального потепления основывается на совокупном радиационном воздействии за конкретный временной интервал, а потенциал изменения глобальной температуры – на изменении средней глобальной приземной температуры в выбранный момент времени. Уточненные значения приведены в данном докладе. {8.7}

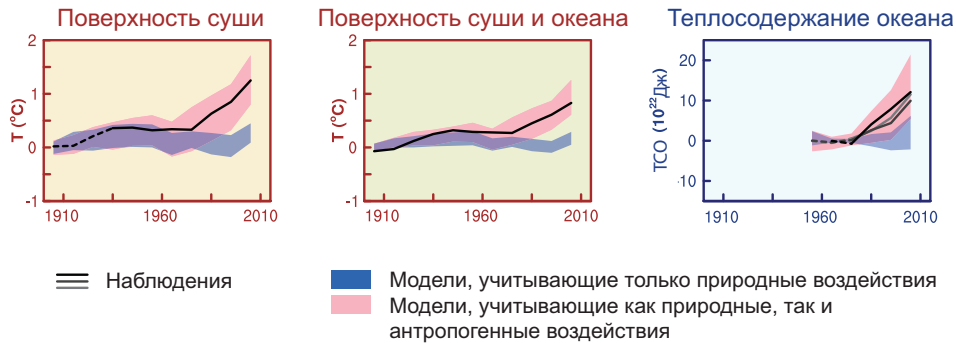
D.3 Обнаружение и объяснение причин изменения климата

Было установлено влияние человека на повышение температур атмосферы и океана, изменение глобального гидрологического цикла, уменьшение количества снега и льда, повышение глобального среднего уровня моря и на некоторые экстремальные климатические явления (см. рисунок РП.6 и таблицу РП.1). Свидетельства влияния человека стали еще более весомыми за время, прошедшее после Д04. *Чрезвычайно вероятно*, что влияние человека было основной причиной потепления, наблюдаемого с середины XX-го века. {10.3–10.6, 10.9}

- *Чрезвычайно вероятно*, что более половины наблюдаемого повышения средней глобальной приземной температуры в 1951–2010 гг. обусловлено увеличением концентраций парниковых газов и другими антропогенными воздействиями. Наилучшая оценка человеческого вклада в потепление близка к наблюдаемому в этот период потеплению. {10.3}
- Вклад парниковых газов в повышение средней глобальной приземной температуры в 1951–2010 гг., *вероятно*, находится в диапазоне 0,5–1,3 °С, при этом вклад прочих антропогенных факторов, включая охлаждающий эффект аэрозолей, *вероятно*, попадает в диапазон от -0,6 до 0,1 °С. Вклад естественных факторов, *вероятно*, составляет от -0,1 до 0,1 °С, и на долю внутренней изменчивости, *вероятно*, приходится от -0,1 до 0,1 °С. В своей совокупности эти оценки роли каждого фактора соответствуют наблюдаемому потеплению за этот период, т. е. приблизительно 0,6–0,7 °С. {10.3}
- В каждом континентальном регионе, за исключением Антарктики, антропогенные воздействия внесли, *вероятно*, существенный вклад в повышение приземных температур с середины XX-го века (см. рисунок РП.6). В отношении Антарктики значительные неопределенности, связанные с данными наблюдений, приводят к *низкой степени достоверности* того, что антропогенные воздействия внесли вклад в наблюдаемое потепление, показатели которого были усреднены по имеющимся станциям. *Вероятно*, что с середины XX-го века деятельность человека способствовала весьма значительному потеплению в Арктике. {2.4, 10.3}
- *Весьма вероятно*, что антропогенное влияние, особенно парниковые газы и истощение стратосферного озона, привело к наблюдаемой структуре потепления в тропосфере и соответствующего похолодания в нижних слоях стратосферы с 1961 г. {2.4, 9.4, 10.3}
- *Весьма вероятно*, что антропогенные воздействия внесли существенный вклад в повышение теплосодержания верхнего слоя Мирового океана (0–700 м), наблюдаемое с 1970-х годов (см. рисунок РП.6). Имеются доказательства антропогенного влияния в отдельных океанических бассейнах. {3.2, 10.4}
- *Вероятно*, что с 1960 г. антропогенное воздействие оказало влияние на глобальный гидрологический цикл. Антропогенное воздействие внесло свой вклад в наблюдаемое повышение содержания влаги в атмосфере (*средняя степень достоверности*), глобальное изменение режима осадков над сушей (*средняя степень достоверности*), увеличение интенсивности сильных осадков над районами суши, по которым имеется достаточно данных (*средняя степень достоверности*), а также изменение солёности поверхностного и подповерхностного слоев океана (*весьма вероятно*). {2.5, 2.6, 3.3, 7.6, 10.3, 10.4}



Глобальные средние величины



≡ Наблюдения

■ Модели, учитывающие только природные воздействия
 ■ Модели, учитывающие как природные, так и антропогенные воздействия

Рисунок РП.6. Сопоставление наблюдаемых климатических изменений и результатов моделирования по трем крупным показателям в атмосфере, криосфере и океане: изменения температуры приземного воздуха на континентах (желтые прямоугольники), площади морского льда Арктики и Антарктики в сентябре (белые прямоугольники) и теплосодержания верхнего слоя океана в основных океанских бассейнах (голубые прямоугольники). Приводятся также средние глобальные значения изменений. Аномалии показаны по сравнению с 1880–1919 гг. по приземным температурам, с 1960–1980 гг. по теплосодержанию океана и с 1979–1999 гг. по морскому льду. Все временные ряды являются центрированными десятилетними средними. На рисунках температурных рядов данные наблюдений показаны пунктиром, если доля площади региона, охваченная наблюдениями, менее 50 %. В прямоугольниках, относящихся к теплосодержанию океана и морскому льду, сплошной линией показаны более качественные данные с хорошим охватом, а пунктиром – данные с лишь адекватным охватом и поэтому большей неопределенностью. Показанные результаты моделирования представляют собой диапазоны разброса по мультимодельному ансамблю результатов расчетов, выполненных в рамках 5-й фазы Проекта сравнения совместных моделей (ПССМ5), где затененные зоны отражают уровень достоверности от 5 до 95 %. Дополнительную техническую информацию, включая определения регионов, см. в дополнительном материале к Техническому резюме. {Рисунок 10.21; рисунок TP.12}

- Еще более убедительными стали данные, свидетельствующие об антропогенном влиянии на экстремальные температурные явления, за время, прошедшее после СДЭБ. Сейчас *весьма вероятно*, что влияние деятельности человека внесло вклад в наблюдаемые с середины XX-го века глобальные изменения повторяемости и интенсивности суточных экстремальных температурных явлений, и *вероятно*, что влияние деятельности человека более чем удвоило вероятность возникновения волн тепла в некоторых регионах (см. таблице РП.1). {10.6}
- Антропогенные воздействия, *весьма вероятно*, внесли вклад в уменьшение площади морского льда в Арктике с 1979 г. *Степень достоверности* научного понимания наблюдаемого небольшого увеличения площади морского льда в Антарктике *низка*, что обусловлено неполными и конкурирующими научными объяснениями причин изменений и *низкой степенью достоверности* оценок естественной внутренней изменчивости в этом регионе (см. рисунок РП.6). {10.5}
- Антропогенные воздействия, *вероятно*, внесли вклад в отступление ледников с 1960-х годов, а также в увеличение потери поверхностной массы Гренландского ледникового покрова с 1993 г. Из-за низкого уровня научного понимания *степень достоверности* объяснения причин наблюдаемой потери массы Антарктического ледникового покрова за последние два десятилетия *низка*. {4.3, 10.5}
- *Вероятно*, имело место антропогенное влияние на наблюдаемое с 1970 г. сокращение весеннего снежного покрова в Северной полушарии. {10.5}
- *Весьма вероятно*, что антропогенные воздействия внесли значительный вклад в повышение глобального среднего уровня моря с 1970-х годов. Этот вывод основан на *высокой степени достоверности* роли антропогенного влияния на два основных фактора повышения уровня моря, а именно: тепловое расширение и потеря массы ледников. {10.4, 10.5, 13.3}
- Существует *высокая степень достоверности* в отношении того, что изменение суммарной солнечной радиации не оказало влияния на повышение средней глобальной приземной температуры в период 1986–2008 гг., исходя из прямых спутниковых измерений суммарной солнечной радиации. Со *средней степенью достоверности* 11-летний цикл солнечной активности оказал влияние на 10-летние климатические колебания в некоторых регионах. Не было выявлено никакой явной взаимосвязи между изменениями космических лучей и облачным покровом. {7.4, 10.3, вставка 10.2}

Е. Будущее глобальное и региональное изменение климата

Для прогнозирования изменений климатической системы используются климатические модели разных уровней сложности, от простых климатических моделей до моделей промежуточной сложности, полных климатических моделей и моделей системы Земля. Эти модели рассчитывают изменения на основе набора сценариев антропогенных воздействий. Для новых климатических расчетов, выполненных в рамках 5-й фазы Проекта сравнения совместных моделей (ПССМ5) Всемирной программы исследований климата, использовался новый набор сценариев, а именно Репрезентативные траектории концентраций (РТК). Во всех РТК концентрации CO_2 в атмосфере выше в 2100 г. по сравнению с сегодняшним днем из-за продолжающегося в XXI-м веке увеличения совокупной эмиссии CO_2 в атмосферу (см. вставку РП.1). Проекция в настоящем Резюме для политиков приводятся на конец XXI-го века (2081–2100 гг.) и сравниваются с периодом 1986–2005 гг., если не указано иное. Для размещения этих проекций в исторический контекст необходимо рассмотреть наблюдаемые изменения между разными периодами. На основе имеющегося набора данных за самый продолжительный период наблюдений за глобальной приземной температурой изменение между средним значением за период 1850–1900 гг. и базовым периодом Д05 составляет 0,61 [0,55–0,67] °C. Однако произошедшее потепление превзошло среднее значение за базовый период Д05. В этой связи указанная оценка не является оценкой величины исторического потепления к настоящему времени (см. главу 2).

Продолжающаяся эмиссия парниковых газов будет являться причиной дальнейшего потепления и изменений во всех компонентах климатической системы. Ограничение климатических изменений потребует значительного и непрерывного снижения выбросов парниковых газов. {6, 11–14}

- Проекция на следующие несколько десятилетий демонстрирует пространственную картину изменений климата, аналогичную прогнозу на конец XXI-го века, но с более низкими значениями. Естественная внутренняя изменчивость будет по-прежнему являться главным фактором, оказывающим влияние на климат, особенно в краткосрочной

перспективе и в региональном масштабе. К середине XXI-го века значения проецируемых изменений будут в большей степени зависеть от выбора сценария эмиссии (вставка РП.1). {11.3, вставка 11.1, приложение I}

- Прогнозируемое изменение климата, основанное на сценариях РТК, сходно с прогнозом ДО4 как по характеру, так и величине, с учетом различий между сценариями. Суммарный диапазон отклонений между проекциями с высокими РТК уже, чем между сравнимыми сценариями в ДО4, поскольку, в отличие от сценариев выбросов СДЭБ, используемых в ДО4, РТК в ДО5 определяются как траектории концентраций, и поэтому неопределенности углеродного цикла, оказывающие влияние на концентрацию CO₂ в атмосфере, не учитываются в моделировании в рамках ПССМ5, основанном на концентрациях. Прогнозы повышения уровня моря выше, чем в ДО4, главным образом благодаря усовершенствованному моделированию вклада материкового льда. {11.3, 12.3, 12.4, 13.4, 13.5}

Е.1 Атмосфера: Температура

Изменение глобальной приземной температуры в конце XXI-го века, вероятно, превысит 1,5 °C по сравнению с периодом 1850-1900 гг. во всех сценариях РТК, кроме РТК2.6. Оно превысит, вероятно, 2 °C в сценариях РТК6.0 и РТК8.5 и, скорее вероятно, чем нет, превысит 2 °C в сценарии РТК4.5. Потепление продолжится после 2100 г. согласно всем сценариям РТК, кроме РТК2.6. Потепление будет продолжать демонстрировать изменчивость на интервалах от года до десятилетия и в региональном масштабе не будет однородным (см. рисунки РП.7 и РП.8). {11.3, 12.3, 12.4, 14.8}

- Изменение средней глобальной приземной температуры за период 2016–2035 гг. по сравнению с 1986–2005 гг. будет, вероятно, в диапазоне 0,3–0,7 °C (*средняя степень достоверности*). Эта оценка основывается на многочисленных данных и предполагает отсутствие крупных извержений вулканов или долговременных изменений суммарной солнечной радиации. Ожидается, что по сравнению с естественной внутренней изменчивостью повышение в краткосрочной перспективе среднесезонных и среднегодовых значений температур будет более значительным в тропиках и субтропиках, чем в средних широтах (*высокая степень достоверности*). {11.3}
- Повышение средних глобальных приземных температур в 2081–2100 гг. по сравнению с периодом 1986–2005 гг. прогнозируется в границах *вероятных* диапазонов, полученных по сценарным расчетам по моделям ПССМ5, основанным на данных о концентрациях, т. е. 0,3–1,7 °C (РТК2.6), 1,1–2,6 °C (РТК4.5), 1,4–3,1 °C (РТК6.0), 2,6–4,8 °C (РТК8.5). Потепление в Арктическом регионе будет происходить более быстрыми темпами, чем в среднем на планете, а над сушей оно будет более значительным, чем над океанами (*весьма высокая степень достоверности*) (см. рисунки РП.7 и РП.8 и таблицу РП.2). {12.4, 14.8}
- По сравнению со средними значениями за 1850–1900 гг. изменение глобальной приземной температуры к концу XXI-го века превысит, вероятно, согласно прогнозам, 1,5 °C по сценариям РТК4.5, РТК6.0 и РТК8.5 (*высокая степень достоверности*). Потепление превысит, вероятно, 2 °C по сценарию РТК6.0 и РТК8.5 (*высокая степень достоверности*); более вероятно, чем нет, превысит 2 °C по сценарию РТК4.5 (*высокая степень достоверности*); но маловероятно, что оно превысит 2 °C по сценарию РТК2.6 (*средняя степень достоверности*). Маловероятно, что потепление превысит 4 °C по сценариям РТК2.6, РТК4.5 и РТК6.0 (*высокая степень достоверности*), и относительно вероятно превысит 4 °C по сценарию РТК8.5 (*средняя степень достоверности*). {12.4}
- *Практически определено*, что по мере повышения средних глобальных температур над большей частью поверхности суши в суточном и сезонном временных масштабах будут более часто наблюдаться экстремально высокие и реже — экстремально низкие температуры. *Весьма вероятно*, что волны тепла будут наступать более часто и будут более продолжительными. По-прежнему в зимнее время порой будут отмечаться экстремально низкие температуры (см. таблицу РП. 1) {12.4}

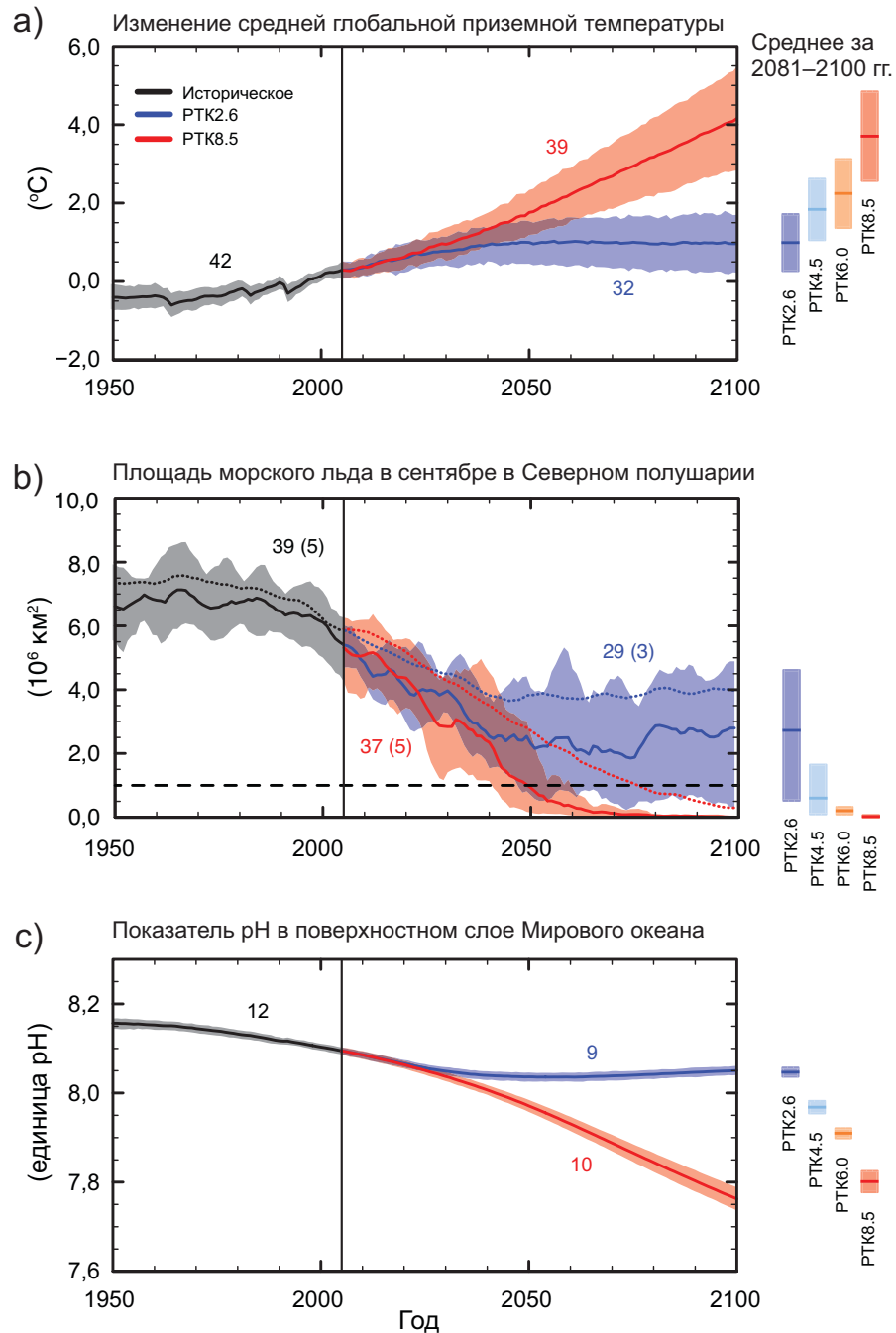


Рисунок РП.7. Результаты расчетов по моделям ПССМ5 временных рядов с 1950 по 2100 гг. (а) изменений среднегодовой глобальной приземной температуры по сравнению с 1986–2005 гг., (б) площади морского льда в сентябре в Северном полушарии (5-летнее скользящее среднее) и (с) средней глобальной величины рН на поверхности океана. Временные ряды проекций и мера неопределенности (затенение) показаны для сценариев РТК2.6 (синий цвет) и РТК8.5 (красный цвет). Черным (серое затенение) показаны результаты моделирования исторической эволюции с использованием реконструированных данных по внешним воздействиям. Средние значения за 2081–2100 гг. и соответствующие неопределенности показаны для всех сценариев РТК в виде цветных вертикальных столбиков. Указано количество моделей ПССМ5, использованных для расчета средних значений по мультимодельному ансамблю. Для площади морского льда (б) указаны прогнозируемое среднее значение и неопределенность (диапазон минимальных и максимальных значений) подгруппы моделей, которые наиболее точно воспроизводят среднее климатологическое состояние, а также тренд площади морского льда в Арктике в период 1979–2012 гг. (количество моделей приводится в скобках). Для полноты картины среднее значение по всему ансамблю моделей ПССМ5 также показано точечным пунктиром. Обычный пунктир показывает практическое отсутствие льдов (т. е. площадь морского льда менее 10^6 км^2 в течение по меньшей мере пяти лет подряд). Дополнительную техническую информацию см. в дополнительном материале к Техническому резюме {рисунки 6.28, 12.5 и 12.28–12.31; рисунки ТР.15, ТР.17 и ТР.20}

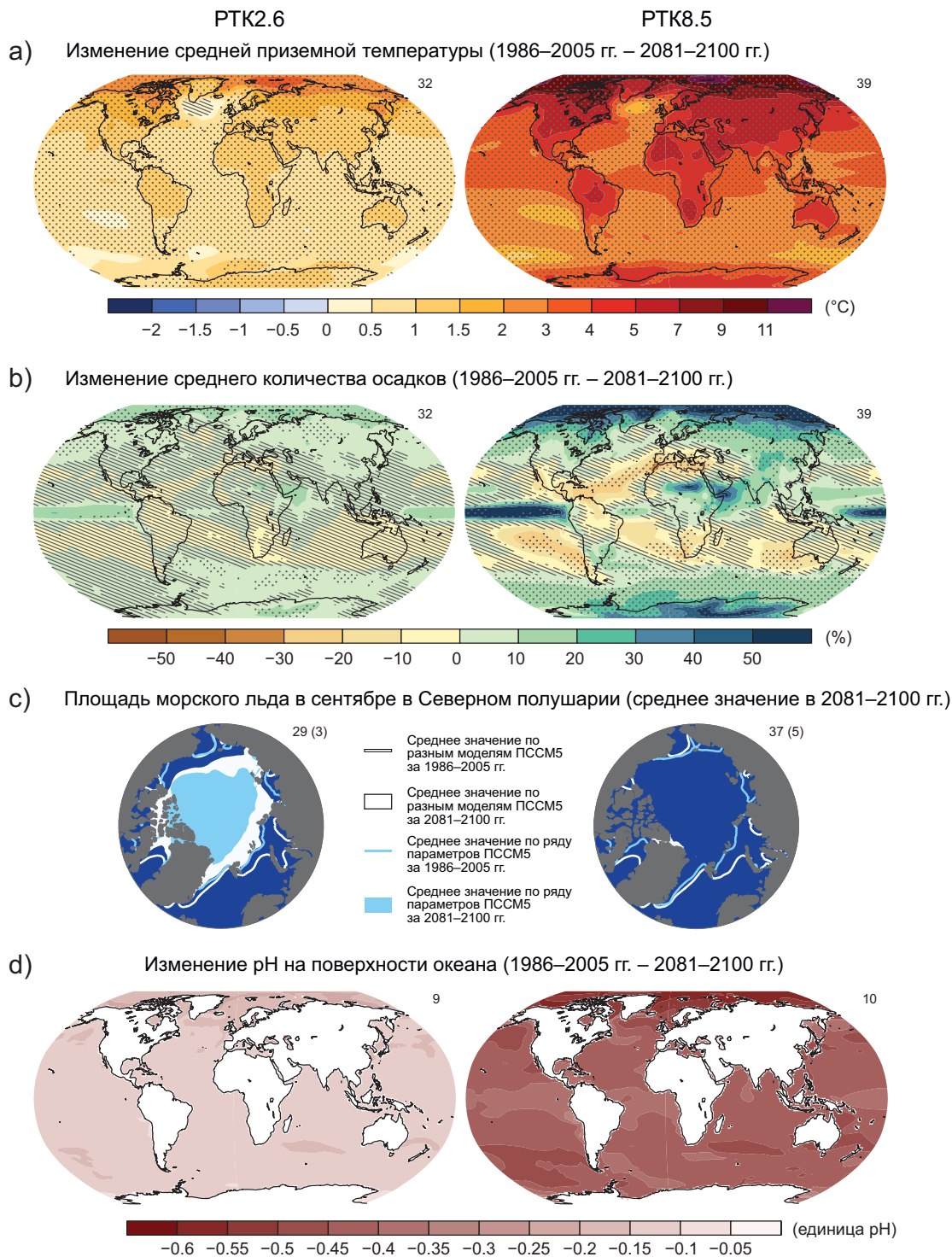


Рисунок РП.8. Карты средних значений, полученных по моделям ПССМ5 в рамках сценариев РТК2.6 и РТК8.5 для 2081–2100 гг., (а) среднегодового изменения приземной температуры; (б) среднего процента изменений среднегодового количества осадков; (с) площади морского льда в сентябре в Северном полушарии и (д) изменения pH на поверхности океана. Изменения в частях «а», «б» и «д» показаны по сравнению с 1986–2005 гг. Количество моделей ПССМ5, использованных для расчета среднего по модельному ансамблю значения, указано в верхнем правом углу каждой части. В частях «а» и «б» штриховкой показаны регионы, для которых среднее модельное значение мало по сравнению с естественной внутренней изменчивостью (т. е. менее одного стандартного отклонения естественной внутренней изменчивости 20-летних средних). Точечной штриховкой обозначены регионы, в которых среднее модельное значение велико по сравнению с естественной внутренней изменчивостью (т. е. более двух стандартных отклонений естественной внутренней изменчивости 20-летних средних) и по которым среди 90 % моделей есть согласие в отношении знака изменений (см. вставку 12.1). В части «с» линии представляют полученные по моделям средние значения за 1986–2005 гг.; закрашенные области относятся к концу столетия. Среднее значение по ансамблю моделей ПССМ5 показано белым цветом, а голубым цветом показана прогнозируемая средняя площадь морского льда по подгруппе моделей (количество модельей приводится в скобках), наиболее точно воспроизводящих среднее климатическое состояние и тренд площади морского льда в Арктике в 1979–2012 гг. Дополнительную техническую информацию см. в дополнительном материале к Техническому резюме. {Рисунки 6.28, 12.11, 12.22 и 12.29; рисунки ТР.15, ТР.16, ТР.17 и ТР.20}

Е.2 Атмосфера: Гидрологический цикл

Изменения в глобальном гидрологическом цикле, которые будут происходить в XXI-м веке как реакция на потепление, не будут однородными. Различия в количестве осадков, выпадающих во влажных и засушливых регионах, а также в течение влажного и сухого сезонов, будут увеличиваться, хотя могут быть исключения в ряде регионов (см. рисунок РП.8). {12.4, 14.3}

- Прогнозы изменений в гидрологическом цикле в течение последующих нескольких десятилетий показывают те же тенденции, что и на конец столетия, но в меньших масштабах. Изменения в краткосрочной перспективе и в региональных масштабах в большой степени объясняются естественной внутренней изменчивостью, и на них могут оказать влияние антропогенные выбросы аэрозолей. {11.3}
- Согласно сценарию РТК8.5 к концу этого столетия в высоких широтах и экваториальной зоне Тихого океана, *вероятно*, ожидается увеличение среднегодового количества осадков. Во многих засушливых регионах в средних широтах и в субтропиках среднее количество осадков, *вероятно*, уменьшится, в то время как во многих влажных регионах в средних широтах к концу этого столетия оно, *вероятно*, возрастет по сценарию РТК8.5 (см. рисунок РП.8). {7.6, 12.4, 14.3}
- По мере повышения средней глобальной приземной температуры интенсивность и повторяемость выпадения экстремальных осадков над большей частью суши в средних широтах и над влажными тропическими регионами к концу этого века, *весьма вероятно*, увеличится (см. таблицу РП.1). {7.6, 12.4}

Таблица РП.2. Прогнозируемое изменение средней глобальной приземной температуры воздуха и повышение среднего глобального уровня моря в середине-конце XXI-го века по сравнению с базовым периодом 1986–2005 гг. {12.4; таблица 12.2, таблица 13.5}

		2046–2065 гг.		2081–2100 гг.	
Сценарий		Среднее	Вероятный диапазон ^с	Среднее	Вероятный диапазон ^с
Изменение средней глобальной приземной температуры (°C)^а	РТК2.6	1,0	0,4–1,6	1,0	0,3–1,7
	РТК4.5	1,4	0,9–2,0	1,8	1,1–2,6
	РТК6.0	1,3	0,8–1,8	2,2	1,4–3,1
	РТК8.5	2,0	1,4–2,6	3,7	2,6–4,8
Сценарий		Среднее	Вероятный диапазон ^д	Среднее	Вероятный диапазон ^д
Повышение среднего глобального уровня моря (м)^б	РТК2.6	0,24	0,17–0,32	0,40	0,26–0,55
	РТК4.5	0,26	0,19–0,33	0,47	0,32–0,63
	РТК6.0	0,25	0,18–0,32	0,48	0,33–0,63
	РТК8.5	0,30	0,22–0,38	0,63	0,45–0,82

Примечания:

^а На основе ансамбля моделей ПССМ5; аномалии рассчитаны относительно 1986–2005 гг. Согласно данным Центра Гадлея/ОИК (HadCRUT4) и его оценке неопределенности (доверительный интервал 5–95 %), наблюдаемое потепление по сравнению с базовым периодом 1986–2005 гг. составляет 0,61 [0,55–0,67] °C за период 1850–1900 гг. и 0,11 [0,09–0,13] °C за период 1980–1999 гг. – базовый период для проекций, использованных в Д04. В данном докладе не содержится оценки *вероятных* диапазонов по сравнению с предыдущими базовыми периодами, поскольку в литературе не всегда приводятся методы для объединения неопределенностей в моделях и данных наблюдений. При сложении прогнозируемых и наблюдаемых изменений не учитываются потенциальные эффекты от систематических ошибок моделей по сравнению с данными наблюдений, а также естественная внутренняя изменчивость в течение базового периода наблюдений. {2.4; 11.2; таблицы 12.2 и 12.3}

^б На основе 21 модели ПССМ5; аномалии рассчитаны по сравнению с 1986–2005 гг. При отсутствии результатов моделирования в рамках ПССМ5 для конкретной модели общей циркуляции сопряженной системы атмосфера-океан (МОЦАО) или сценария они рассчитаны в соответствии с описанием в главе 13, таблица 13.5. Воздействия быстрых динамических изменений ледяных щитов и антропогенных хранилищ пресной воды рассматриваются в качестве имеющих одинаковые вероятностные распределения и в значительной мере не зависящих от сценариев. Подобный подход не подразумевает, что рассматриваемые воздействия не будут зависеть от соответствующего сценария, просто существующий уровень знаний не позволяет сделать количественную оценку этой зависимости. Исходя из существующего сейчас понимания, только разрушение, если оно начнется, участков ледяного щита Антарктики, основания которых находятся ниже уровня моря, могло бы вызвать в XXI-м веке значительное увеличение *вероятного* диапазона повышения среднего глобального уровня моря. Существует *средняя степень достоверности* относительно того, что этот дополнительный вклад не превысит нескольких десятков метра повышения уровня моря в XXI-м веке.

^с Рассчитано согласно проекциям, при диапазоне в 5–95 %. Эти диапазоны оцениваются как *вероятные* с учетом дополнительных неопределенностей или различных степеней достоверности в моделях. Для проекций изменения средней глобальной приземной температуры в 2046–2065 гг. *степень достоверности* является *средней*, поскольку относительная важность естественной внутренней изменчивости и неопределенности, связанной с воздействиями, отличными от воздействий парниковых газов, и реакций на них в этот период выше, чем в 2081–2100 гг. *Вероятные* диапазоны для 2046–2065 гг. не отражают возможное влияние факторов, которые приводят к оценке краткосрочных (2016–2035 гг.) изменений средней глобальной приземной температуры ниже диапазона 5–95 %, поскольку из-за недостаточных научных знаний не была сделана количественная оценка влияния этих факторов в более долгосрочной перспективе. {11.3}

^д Рассчитано на основе проекций диапазона 5–95 %. С учетом дополнительных неопределенностей или различных степеней достоверности в моделях эти диапазоны оценены как *вероятные*. В отношении проекций повышения глобального среднего уровня моря *степень достоверности* является *средней* в обоих временных горизонтах.

- В глобальном масштабе *вероятно*, что зона, охватываемая муссонными системами, увеличится в течение XXI-го века. Одновременно с *вероятным* ослаблением муссонных ветров интенсивность муссонных осадков, *вероятно*, увеличится вследствие повышения влагозапаса атмосферы. Даты начала муссонов, *вероятно*, сдвинутся на более ранние сроки или существенно не изменятся. Даты окончания муссонов, *вероятно*, передвинутся на более поздние сроки, что приведет к удлинению сезона муссонов во многих регионах. {14.2}
- Существует *высокая степень достоверности* относительно того, что явление Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНСО) в XXI-м веке будет по-прежнему определять доминирующий режим межгодовой изменчивости в тропических широтах Тихого океана, сопровождаемый глобальными последствиями. В результате повышения влажности связанная с ЭНСО изменчивость режима осадков на региональном уровне, *вероятно*, увеличится. Естественная изменчивость амплитуды и пространственной картины ЭНСО велика, и поэтому *степень достоверности* конкретных прогнозируемых изменений ЭНСО и сопутствующих региональных явлений в XXI-м веке остается *низкой*. {5.4, 14.4}

Е.3 Атмосфера: Качество воздуха

- Диапазон проекций качества воздуха (содержание озона и $\text{VCH}_2,5^{17}$ в приповерхностном воздухе) обусловлен, главным образом, выбросами (включая CH_4), а не физическим изменением климата (*средняя степень достоверности*). Существует *высокая степень достоверности*, что в глобальном масштабе потепление ведет к уменьшению фоновому содержанию озона в приземном слое. Высокие уровни CH_4 (как в РТК8.5) могут компенсировать это уменьшение, увеличив фоновое содержание озона в приземном слое к 2100 г. в среднем приблизительно на 8 ppb (25 % от нынешних уровней) по сравнению со сценариями, предусматривающими незначительные изменения уровней CH_4 (как в РТК4.5 и РТК6.0) (*высокая степень достоверности*). {11.3}
- Данные наблюдений и результаты моделирования свидетельствуют о том, что при всех прочих равных условиях более высокие приземные температуры в загрязненных регионах станут причиной усиления региональных обратных связей в химических реакциях в атмосфере и местных выбросах, которые приведут к повышению пиковых уровней озона и $\text{VCH}_2,5$ (*средняя степень достоверности*). Что касается $\text{VCH}_2,5$, то изменение климата может привести к изменению естественных источников аэрозолей и оказать влияние на их удаление с осадками, однако суммарному влиянию изменения климата на распределение $\text{VCH}_2,5$ не присваивается никакая степень достоверности. {11.3}

Е.4 Океан

Температура Мирового океана будет продолжать повышаться в течение XXI-го века. Теплота будет проникать с поверхности в глубокие слои и оказывать влияние на океаническую циркуляцию. {11.3, 12.4}

- Самое значительное повышение температуры океана прогнозируется в его поверхностном слое в тропических регионах и субтропической зоне Северного полушария. На большей глубине потепление будет самым заметным в Южном океане (*высокая степень достоверности*). Согласно наилучшим оценкам, повышение температуры верхнего 100-метрового слоя к концу XXI-го века составит от 0,6 °C (РТК2.6) до 2 °C (РТК8.5), а на глубине около 1 000 м – приблизительно от 0,3 °C (РТК2.6) до 0,6 °C (РТК8.5). {12.4, 14.3}
- *Весьма вероятно*, что в течение XXI-го века произойдет ослабление Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции (АМОЦ). Наилучшие оценки и диапазон¹⁸ ослабления, согласно моделям ПССМ5, составляют 11 % (1–24 %) для РТК2.6 и 34 % (12–54 %) для РТК8.5. *Вероятно*, что приблизительно к 2050 г. будет отмечено некоторое ослабление АМОЦ, однако в некоторые десятилетия она может усиливаться вследствие значительной естественной внутренней изменчивости. {11.3, 12.4}
- *Весьма маловероятно*, что в рассмотренных сценариях в XXI-м веке АМОЦ претерпит резкие изменения или коллапс. *Степень достоверности* оценки эволюции АМОЦ после XXI-го века *низкая* из-за ограниченного количества исследований и неоднозначных результатов. Однако невозможно исключить ее коллапс после XXI-го века в случае значительного и продолжительного потепления. {12.5}

¹⁷ $\text{VCH}_2,5$ означает взвешенные частицы с диаметром менее 2,5 микрометра – единица измерения концентрации аэрозолей в атмосфере.

¹⁸ Диапазоны в этом пункте указывают на диапазон отклонений между моделями ПССМ5.

Е.5 Криосфера

Весьма вероятно, что протяженность и толщина морских льдов в Арктике будут продолжать сокращаться и что снежный покров в Северном полушарии в весеннее время года будет уменьшаться в XXI-м веке по мере повышения средней глобальной приземной температуры. Объем ледников будет продолжать уменьшаться. {12.4, 13.4}

- На основании средних значений по мультимодельному ансамблю к концу XXI-го века прогнозируется круглогодичное уменьшение площади арктического морского льда. Это сокращение находится в диапазоне от 43 % для РТК2.6 до 94 % для РТК8.5 в сентябре и от 8 % для РТК2.6 до 34 % для РТК8.5 в феврале (*средняя степень достоверности*) (см. рисунки РП.7 и РП.8). {12.4}
- Исходя из результатов оценки, сделанной с помощью подгруппы моделей, наиболее точно воспроизводящих среднее климатическое состояние и тренд площади морского льда в Арктике в период 1979–2012 гг., до середины столетия *вероятно* почти полное отсутствие льда в Северном Ледовитом океане¹⁹ в сентябре по сценарию РТК8.5 (*средняя степень достоверности*) (см. рисунки РП.7 и РП.8). По другим сценариям с уверенностью спрогнозировать, когда в XXI-м веке в сентябре в Арктике будут почти полностью отсутствовать льды, не представляется возможным. {11.3, 12.4, 12.5}
- В Антарктике с *низкой степенью достоверности* прогнозируется уменьшение площади и объема морского льда в конце XXI-го века по мере повышения средней глобальной приземной температуры. {12.4}
- Прогнозируется, что к концу XXI-го века сокращение объема ледников в мире, за исключением окраинных ледников Антарктики, составит от 15 до 55 % по сценарию РТК2.6 и от 35 до 85 % по сценарию РТК8.5 (*средняя степень достоверности*). {13.4, 13.5}
- Прогнозируется, что к концу XXI-го века площадь снежного покрова весной в Северном полушарии в среднем по модельному ансамблю сократится на 7 % по сценарию РТК2.6 и на 25 % по сценарию РТК8.5 (*средняя степень достоверности*). {12.4}
- *Практически определено*, что площадь приповерхностного слоя вечной мерзлоты в высоких северных широтах будет сокращаться по мере повышения средней глобальной приземной температуры. По прогнозам, к концу XXI-го века сокращение зоны поверхностной вечной мерзлоты (верхние 3,5 м) в среднем по модельному ансамблю составит от 37 % (РТК2.6) до 81 % (РТК8.5) (*средняя степень достоверности*). {12.4}

Е.6 Уровень моря

Средний глобальный уровень моря будет продолжать повышаться в XXI-м веке (см. рисунок РП.9). Во всех сценариях РТК скорость повышения уровня моря, *весьма вероятно*, превысит значения, отмечавшиеся в 1971–2010 гг., вследствие повышения температуры океана и увеличения сокращения массы ледников и ледниковых покровов. {13.3–13.5}

- За период, прошедший со времени выхода Д04, уверенность в результатах прогнозирования повышения среднего глобального уровня моря возросла благодаря более четкому пониманию физических причин повышения уровня моря, большей согласованности моделей, описывающих различные процессы, с данными наблюдений и включению динамических изменений ледяных щитов. {13.3-13.5}
- Повышение среднего глобального уровня моря в период 2081–2100 гг. по сравнению с 1986–2005 гг. будет, *вероятно*, в диапазоне от 0,26 до 0,55 м в сценарии РТК2.6, от 0,32 до 0,63 м в сценарии РТК4.5, от 0,33 до 0,63 м в сценарии РТК6.0 и от 0,45 до 0,82 м в сценарии РТК8.5 (*средняя степень достоверности*). В сценарии РТК8.5 повышение к 2100 г. составит от 0,52 до 0,98 м, а скорость повышения в течение 2081–2100 гг. – от 8 до 16 мм·год⁻¹ (*средняя степень достоверности*). Эти диапазоны получены на основе климатических проекций ПССМ5 в сочетании с моделями, описывающими физические процессы, и описанными в литературе оценками вкладов, вносимых ледниками и ледяными щитами (см. рисунок РП.9, таблицу РП.2). {13.5}

¹⁹ Можно говорить о почти полном отсутствии льда в Северном Ледовитом океане, если площадь морского льда составляет менее 10⁶ км² на протяжении по крайней мере пяти лет подряд.

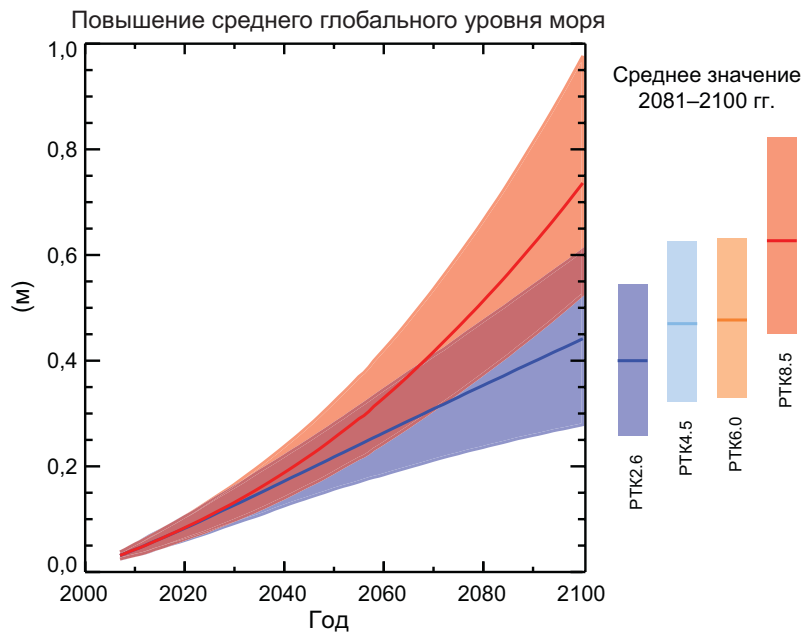


Рисунок РП.9. Проекция повышения среднего глобального уровня моря в XXI-м веке по сравнению с 1986–2005 гг. на основе комбинации ансамбля моделей ПССМ5 с моделями, описывающими различные процессы, по сценариям РТК2.6 и РТК8.5. Затененная зона представляет оценку вероятного диапазона. Оценки вероятных диапазонов средних значений за период 2081–2100 гг. для всех сценариев РТК представлены в виде цветных столбиков, а соответствующие медианные значения показаны в виде горизонтальной линии. Дополнительную техническую информацию см. в дополнительном материале к Техническому резюме. {таблица 13.5, рисунки 13.10 и 13.11; рисунки ТР.21 и ТР.22}

- В проекциях РТК на долю теплового расширения приходится от 30 до 55 % повышения среднего глобального уровня моря в XXI-м веке, а на долю ледников – от 15 до 35 %. Увеличение скорости таяния поверхности Гренландского ледяного щита превысит рост количества выпадающего снега, что приведет к положительному вкладу изменений баланса массы на поверхности ледяного щита в повышение уровня моря (*высокая степень достоверности*). Поверхностное таяние в Антарктике останется незначительным, но ожидается рост количества выпадающего снега (*средняя степень достоверности*), что приведет к отрицательному вкладу изменений баланса массы на поверхности ледяного щита в повышение уровня моря. Изменения суммарных стоков с обоих ледяных щитов внесут, вероятно, вклад в диапазоне от 0,03 до 0,20 м к 2081–2100 гг. (*средняя степень достоверности*). {13.3-13.5}
- Исходя из современного понимания, только разрушение, если оно начнется, участков ледяного щита Антарктики, основания которых находятся ниже уровня моря, могло бы стать в XXI-м веке причиной значительного увеличения вероятного диапазона повышения среднего глобального уровня моря. В то же время существует *средняя степень достоверности* в отношении того, что этот дополнительный вклад не превысит нескольких десятых метра роста уровня моря в XXI-го веке. {13.4, 13.5}
- Были рассмотрены основания более значительного повышения среднего глобального уровня моря в XXI-м веке, однако в настоящее время имеющихся данных недостаточно для оценки вероятности превышения вероятного диапазона значений. Многие проекции повышения среднего глобального уровня моря, основанные на полумпирических моделях, дают больший рост, чем проекции по моделям, описывающим физические процессы (почти в два раза выше), но в научном сообществе нет согласия в отношении их надежности, и поэтому *достоверность* этих проекций *низка*. {13.5}
- Повышение уровня моря не будет однородным. *Весьма вероятно*, что к концу XXI-го века повышение уровня моря произойдет на более чем 95 % площади, занятой океаном. По прогнозам, приблизительно 70 % береговой линии во всем мире будет испытывать повышение уровня моря в пределах 20 % от изменения среднего глобального уровня моря. {13.1, 13.6}

Е.7 Углеродный и другие биогеохимические циклы

Изменение климата затронет процессы углеродного цикла, что приведет к повышению содержания CO₂ в атмосфере (*высокая степень достоверности*). Дальнейшее поглощение углерода океаном вызовет повышение кислотности океана. {6.4}

- Поглощение океаном антропогенного CO₂ будет продолжаться до 2100 г. во всех четырех сценариях РТК, при этом более значительное поглощение отмечается в сценариях с более высокими концентрациями (*весьма высокая степень достоверности*). Меньше ясности в отношении будущей динамики поглощения углерода суши. Большинство моделей прогнозируют дальнейший рост поглощения углерода суши по всем сценариям РТК, однако некоторые модели показывают потери углерода суши вследствие совокупного эффекта от изменения климата и изменений в землепользовании. {6.4}
- Исходя из данных моделей системы Земля, с *высокой степенью достоверности* можно считать, что в XXI-м веке обратная связь между климатом и углеродным циклом будет положительной; т. е. изменение климата будет частично препятствовать увеличению стоков углерода на суше и в океан, вызванному повышением концентрации CO₂ в атмосфере. В результате в атмосфере будет оставаться больший объем антропогенного CO₂. Положительная обратная связь между климатом и углеродным циклом во временных масштабах от ста до тысячи лет подтверждается данными палеоклиматических наблюдений и результатами моделирования. {6.2, 6.4}
- Модели системы Земля прогнозируют глобальное повышение кислотности океана во всех сценариях РТК. Соответствующее снижение к концу XXI-го века pH на поверхности океана находится в диапазоне¹⁸ от 0,06 до 0,07 по сценарию РТК2.6, от 0,14 до 0,15 по сценарию РТК4.5, от 0,20 до 0,21 по сценарию РТК6.0 и от 0,30 до 0,32 по сценарию РТК8.5 (см. рисунки РП.7 и РП.8). {6.4}
- Совокупные выбросы CO₂²⁰ за период 2012–2100 гг., сопоставимые с концентрациями CO₂ в атмосфере по сценариям РТК, полученными в 15 моделях системы Земля, находятся в диапазоне¹⁸ от 140 до 410 ГтУ по сценарию РТК2.6, от 595 до 1 005 ГтУ по сценарию РТК4.5, от 840 до 1 250 ГтУ по сценарию РТК6.0 и от 1 415 до 1 910 ГтУ по сценарию РТК8.5 (см. таблицу РП.3). {6.4}

Таблица РП.3. Совокупные выбросы CO₂ за период 2012–2100 гг., согласованные с атмосферными концентрациями по сценариям РТК, полученными в моделях системы Земля ПССМ5. {6.4, таблица 6.12, рисунок ТР.19}

Сценарий	Совокупные выбросы CO ₂ за 2012-2100 гг. ^а			
	ГтУ		ГтCO ₂	
	Среднее значение	Диапазон	Среднее значение	Диапазон
РТК2.6	270	140–410	990	510–1 505
РТК4.5	780	595–1 005	2 860	2 180–3 690
РТК6.0	1 060	840–1 250	3 885	3 080–4 585
РТК8.5	1 685	1 415–1 910	6 180	5 185–7 005

Примечание:

^а 1 гигатонна углерода = 1 ГтУ = 10¹⁵ грамм углерода. Это соответствует 3,667 ГтCO₂.

- К 2050 г. годовая эмиссия CO₂, полученная в моделях системы Земля по сценарию РТК2.6, меньше, чем эмиссия 1990 г. (на 14–96 %). К концу XXI-го века около половины моделей дают уровень выбросов чуть выше нуля, в то время как другая половина показывает чистое удаление CO₂ из атмосферы. {6.4, рисунок ТР.19}
- Высвобождение CO₂ или CH₄ в атмосферу при таянии вечной мерзлоты на протяжении XXI-го века оценивается в диапазоне от 50 до 250 ГтУ по сценарию РТК8.5 (*низкая степень достоверности*). {6.4}

²⁰ В результате деятельности секторов, связанных с сжиганием ископаемого топлива, производством цемента, промышленными выбросами, а также удалением и обработкой отходов.

E.8 Стабилизация климата, инерция изменения климата и необратимость

Совокупные выбросы CO₂ в значительной мере определяют повышение средней глобальной приземной температуры к концу XXI-го века и в дальнейшем (см. рисунок РП.10). Большинство аспектов изменения климата будут отмечаться в течение многих столетий, даже если выбросы CO₂ прекратятся. Это является отражением существенной инерции изменения климата в течение многих столетий, порожденной прошлыми, настоящими и будущими выбросами CO₂. {12.5}

- Совокупные суммарные выбросы CO₂ и реакция средней глобальной приземной температуры характеризуются практически линейной зависимостью (см. рисунок РП.10). Каждый конкретный уровень потепления связан с диапазоном совокупных выбросов CO₂²¹, и поэтому, например, более высокие уровни выбросов в более ранние десятилетия подразумевают более низкие выбросы в последующий период. {12.5}
- Ограничение потепления, вызванного только антропогенными выбросами CO₂, с 1861–1880 гг.²² с вероятностью >33 %, >50 % и >66 %, не превышающего уровень 2 °С, потребует, чтобы совокупные выбросы CO₂ из всех антропогенных источников оставались на уровне 0–1 570 ГтУ (5 760 ГтCO₂); 0–1 210 ГтУ (4 440 ГтCO₂) и 0–1 000 ГтУ (3 670 ГтCO₂) после указанного периода соответственно²³. Эти верхние пределы снижаются приблизительно до 900 ГтУ (3 300 ГтCO₂), 820 ГтУ (3 010 ГтCO₂) и 790 ГтУ (2 900 ГтCO₂) соответственно, когда учитываются дополнительные воздействия, не связанные с CO₂, как в сценарии РТК 2.6. К 2011 г. выбросы уже составили 515 [445–585] ГтУ (1 890 [1 630–2 150] ГтCO₂). {12.5}
- Для достижения более низкого расчетного показателя потепления или обеспечения более высокой вероятности непревышения конкретного температурного показателя потребуются снижение уровней совокупных выбросов CO₂. Учет влияния роста содержания иных, нежели CO₂, парниковых газов, снижения содержания аэрозолей или высвобождения парниковых газов при таянии вечной мерзлоты будет также снижать объем совокупных выбросов CO₂ для достижения конкретного показателя потепления (см. рисунок РП.10). {12.5}
- Большая доля антропогенного изменения климата, обусловленного выбросами CO₂, является необратимой во временных масштабах от нескольких столетий до тысячелетия, за исключением случая значительного чистого удаления CO₂ из атмосферы в течение длительного периода. После полного прекращения чистых антропогенных выбросов CO₂ приземные температуры будут оставаться повышенными и примерно постоянными на протяжении многих столетий. Вследствие длительных временных масштабов переноса тепла с поверхности океана в его глубинные слои повышение температуры океана будет длиться веками. В зависимости от сценария, около 15–40 % выброшенного CO₂ будет сохраняться в атмосфере в течение более 1 000 лет. {Вставка 6.1, 12.4, 12.5}
- *Практически определено*, что повышение среднего глобального уровня моря будет продолжаться после 2100 г., при этом повышение уровня моря, вызванное тепловым расширением, будет продолжаться в течение многих столетий. Немногочисленные имеющиеся результаты моделирования, охватывающие период после 2100 г., показывают, что повышение среднего глобального уровня моря будет к 2300 г. превышать доиндустриальный уровень менее чем на 1 м при радиационном воздействии, соответствующем концентрациям CO₂, которые достигают пиковых значений, затем снижаются и остаются на уровне ниже 500 ppm, как в сценарии РТК2.6. При радиационном воздействии, соответствующем концентрации CO₂ выше 700 ppm, но ниже 1 500 ppm, как в сценарии РТК8.5, прогнозируемое повышение составляет от 1 до более 3 м (*средняя степень достоверности*). {13.5}
- Продолжительная потеря массы ледяных щитов вызовет большее повышение уровня моря, причем потеря некоторой части этой массы может быть необратимой. С *высокой степенью достоверности* продолжительное потепление, превышающее определенные пороговые значения, приведет к почти полному исчезновению ледяного щита Гренландии в течение тысячелетия или более длительного периода, в результате чего повышение среднего глобального уровня моря составит до 7 м. Текущие оценки показывают, что по сравнению с доиндустриальным периодом это пороговое значение среднего глобального потепления составляет больше 1 °С (*низкая степень достоверности*), но меньше 4 °С (*средняя степень достоверности*). Резкая и необратимая потеря массы льда с потенциально нестабильных участков ледяного щита Антарктики, основания которых находятся ниже уровня океана, вследствие воздействия на климат возможна, но имеющиеся данные и современный уровень знаний недостаточны для проведения количественных оценок. {5.8, 13.4, 13.5}

²¹ Количественное определение этого диапазона выбросов CO₂ требует учета факторов, не связанных с CO₂.

²² Первый 20-летний период, данные за который получены на моделях.

²³ Основано на оценке переходной реакции климата на совокупные выбросы углерода (ПРКВ, см. раздел D.2).

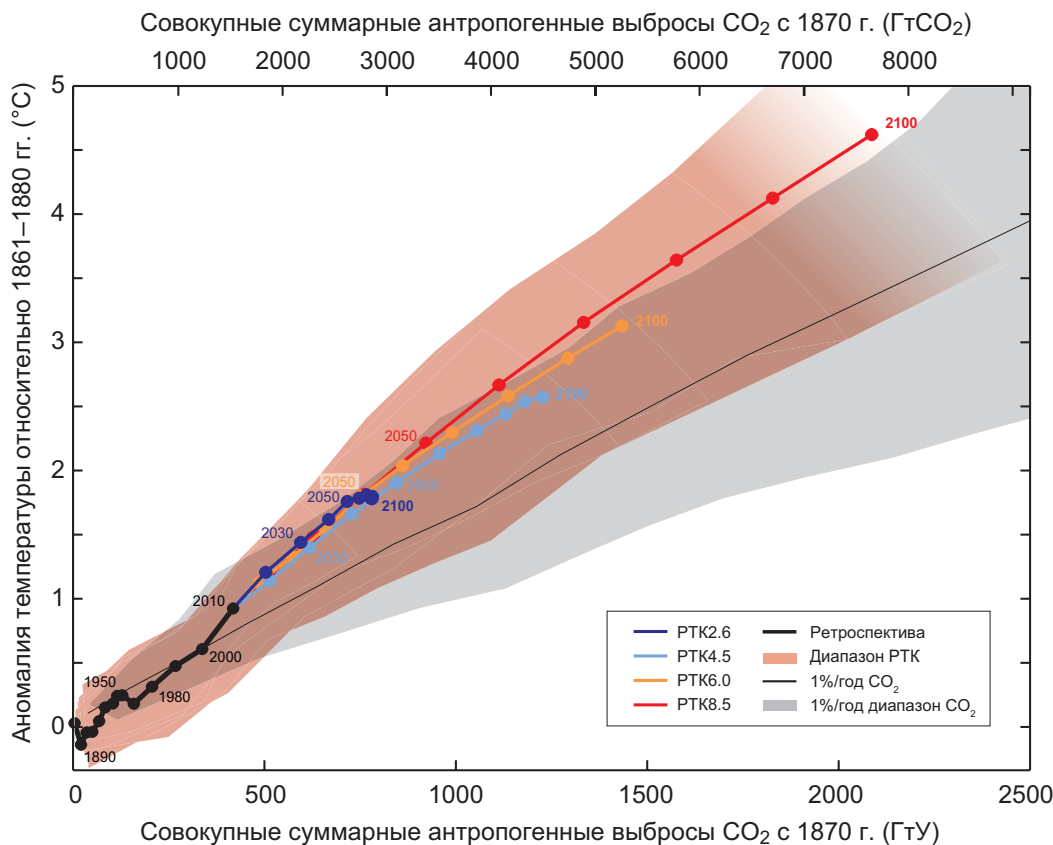


Рисунок РП.10. Повышение средней глобальной приземной температуры как функция совокупных глобальных выбросов CO₂, полученных по различным данным. Результаты, полученные по многим моделям класса «климат-углеродный цикл» для каждого сценария РТК до 2100 г., показаны цветными линиями и средними десятилетними значениями (точки). Некоторые десятилетние средние помечены для ясности (например, 2050 означает десятилетие 2040–2049 гг.). Результаты, полученные на модели за исторический период (1860–2010 гг.), показаны черным цветом. Цветной шлейф иллюстрирует межмодельный разброс по четырем сценариям РТК, а его меньшая яркость показывает уменьшение количества моделей в сценарии РТК 8.5. Среднее значение и диапазон, рассчитанные по моделям ПССМ5, с учетом роста CO₂ на 1 % в год (расчетный рост на 1 % год⁻¹), показаны тонкой черной линией и серым цветом. Для конкретного объема совокупных выбросов CO₂ расчет роста CO₂ на 1 % в год дает меньшее потепление, чем в случае с РТК, которые включают дополнительные воздействия иных, нежели CO₂, газов. Значения температуры приводятся относительно базового периода 1861–1880 гг., а выбросы – относительно 1870 г. Средние значения по десятилетиям соединяются прямыми линиями. Дополнительную техническую информацию см. в дополнительном материале к Техническому резюме. {Рисунок 12.45; TFE.8 TP, рисунок 1}

- Были предложены методы целенаправленного воздействия на климатическую систему для предотвращения изменения климата (геоинжиниринг). Недостаточность данных не позволяет провести всестороннюю количественную оценку управления солнечной радиацией (УСР) и удаления двуокси углерода (УДУ), а также их воздействия на климатическую систему. Методы УДУ имеют биогеохимические и технологические ограничения их потенциала в глобальном масштабе. Не хватает знаний для того, чтобы количественно определить, какой объем выбросов CO₂ может быть частично удален посредством УДУ в столетнем временном масштабе. Результаты моделирования показывают, что методы УСР, в случае их практической реализации, могли бы в значительной мере нейтрализовать повышение глобальной температуры, однако они привели бы также к изменению глобального гидрологического цикла и не снизили бы уровень кислотности океана. При прекращении УСР по какой-либо причине существует *высокая степень достоверности* в отношении того, что глобальные приземные температуры весьма быстро повысятся до значений, обусловленных воздействием парниковых газов. Методы УДУ и УСР имеют другие побочные эффекты и долговременные последствия в глобальном масштабе. {6.5, 7.7}

Вставка РП.1: Репрезентативные траектории концентраций (РТК)

Для проекций изменения климата, подготавливаемых Рабочей группой I МГЭИК, требуется информация о будущих выбросах или концентрациях парниковых газов, аэрозолей, а также о других факторах, влияющих на климат. Эта информация часто бывает представлена в виде сценария деятельности человека, которая не оценивается в настоящем докладе. Сценарии, использованные Рабочей группой I, сосредоточены на антропогенных выбросах и не включают изменения природных факторов, таких как солнечное или вулканическое воздействие или естественные выбросы, например CH_4 и N_2O .

Для Пятого доклада об оценке МГЭИК научное сообщество определило набор из четырех новых сценариев, именуемых репрезентативными траекториями концентраций (РТК, см. Глоссарий). Они определяются приблизительной суммарной величиной радиационного воздействия в 2100 г. по сравнению с 1750 г.: 2,6 $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ для РТК2.6; 4,5 $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ для РТК4.5; 6,0 $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ для РТК6.0 и 8,5 $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ для РТК8.5. Применительно к результатам 5-й фазы Проекта сравнения совместных моделей (ПССМ5) эти величины следует воспринимать только в качестве примерных, поскольку воздействие на климат, обусловленное всеми факторами, меняется в зависимости от модели из-за конкретных характеристик модели и подхода к кратковременным факторам воздействия на климат. Эти четыре РТК включают один сценарий сокращения выбросов, который предполагает весьма низкий уровень воздействия (РТК2.6); два сценария стабилизации (РТК4.5 и РТК6.0) и один сценарий с весьма высокими уровнями выбросов парниковых газов (РТК8.5). Таким образом, РТК могут отражать результаты целого ряда направлений политических мер в области климата в XXI-м веке по сравнению с их отсутствием в Специальном докладе о сценариях выбросов (СДСВ), использованном в Третьем докладе об оценке и Четвертом докладе об оценке. Согласно РТК6.0 и РТК8.5, радиационное воздействие не достигает максимального значения к 2100 г.; в РТК2.6 оно достигает максимума и затем снижается; и в РТК4.5 оно стабилизируется к 2100 г. Каждый сценарий РТК дает комплекты данных с высоким пространственным разрешением по изменениям в землепользовании и выбросам загрязняющих воздух веществ по секторам экономики, а также определяет годовые концентрации парниковых газов и антропогенные выбросы до 2100 г. Сценарии РТК основаны на комбинации комплексных оценочных моделей, простых климатических моделей и моделей химии атмосферы и глобального углеродного цикла. Хотя РТК охватывают широкий диапазон значений совокупных воздействий, они не включают весь спектр выбросов, описанных в литературе, особенно по аэрозолям.

Большинство расчетов по моделям ПССМ5 и моделям системы Земля выполнялись с заданными уровнями концентраций CO_2 , достигающими к 2100 г. 421 ppm (РТК2.6), 538 ppm (РТК4.5), 670 ppm (РТК6.0) и 936 ppm (РТК8.5). С учетом также заданных концентраций CH_4 и N_2O суммарные концентрации в эквиваленте CO_2 составляют 475 ppm (РТК2.6), 630 ppm (РТК4.5), 800 ppm (РТК6.0) и 1 313 ppm (РТК8.5). Для РТК8.5 выполняются дополнительные расчеты по моделям ПССМ5 и моделям системы Земля с уровнями выбросов CO_2 , заданными в соответствии с результатами, полученными по комплексным оценочным моделям. Для всех РТК проводились дополнительные расчеты с использованием уточненных данных по химическому составу атмосферы и моделей (включая компонент ПССМ5 по химии атмосферы и климату), а также заданных в РТК значений выбросов химически активных газов (CH_4 , N_2O , ГФУ, NO_x , СО, НМЛОС). Эти модельные расчеты позволяют оценить неопределенности, связанные с обратными связями, касающимися углеродного цикла и химии атмосферы.

Техническое резюме

Техническое резюме

Координирующие ведущие авторы:

Томас Ф. Стоккер (Швейцария), Цинь Дахэ (Китай), Джиан-Каспер Платтнер (Швейцария)

Ведущие авторы:

Лиза В. Александер (Австралия), Симон К. Аллен (Швейцария/Новая Зеландия), Натаниэль Л. Биндофф (Австралия), Франсуа-Мари Бреон (Франция), Джон А. Черч (Австралия), Ульрих Кубаш (Германия), Сейта Эмори (Япония), Пирс Форстер (СК), Пьер Фридлигштайн (СК/Бельгия), Натан Жиллетт (Канада), Джонатан М. Грегори (СК), Деннис Л. Хартманн (США), Эйстайн Янсен (Норвегия), Бен Киртман (США), Рето Кнутти (Швейцария), Кришна Кумар Каникичарла (Индия), Петер Лемке (Германия), Иохем Мароцке (Германия), Валери Массон-Дельмотт (Франция), Джеральд А. Михль (США), Игорь И. Мохов (Российская Федерация), Шилон Пьяо (Китай), Венкатачалам Рамасвами (США), Дэвид Рэндалл (США), Моника Рейн (Германия), Маиса Рохас (Чили), Кристофер Сабин (США), Дрю Шиндел (США), Линн Д. Толлей (США), Дэвид Г. Воан (СК), Шан-Пин Сье (США)

Сотрудничающие авторы:

Майлз Р. Аллен (СК), Оливье Буше (Франция), Дон Чемберс (США), Энс Хессельбьерг Кристенсен (Дания), Филипп Сие (Франция), Питер Ю. Кларк (США), Мэттью Коллинз (СК), Джозефино К. Комисо (США), Вивиан Васконселос де Менезес (Австралия/Бразилия), Ричард А. Филю (США), Тьерри Фишефе (Бельгия), Грегори Флато (Канада), Хесус Фидель Гонсалес Руко (Испания), Эд Хоукинс (СК), Поль Ж. Хезель (Бельгия/США), Грегори К. Джонсон (США), Саймон А. Джози (СК), Георг Казер (Австралия/Италия), Альберт М. Г. Клайн Танк (Нидерланды), Янина Керпер (Германия), Гуннар Михре (Норвегия), Тимоти Осборн (СК), Скотт Б. Пауэр (Австралия), Стивен Р. Ринтул (Австралия), Джоэри Рогель (Швейцария/Бельгия), Матильда Рустикуччи (Аргентина), Микаэль Шульц (Германия), Ян Седлачек (Швейцария), Питер А. Стотт (СК), Роуан Саттон (СК), Питер У. Торн (США/Норвегия/СК), Дональд Уэбблес (США)

Редакторы-рецензенты:

Сильви Жуссом (Франция), Джойс Пеннер (США), Фредолин Танганг (Малайзия)

При ссылках на настоящее Техническое резюме следует указывать:

Т.Ф. Стоккер, Д. Цинь, Дж.-К. Платтнер, Л. В. Александер, С. К. Аллен, Н. Л. Биндофф, Ф.-М. Бреон, Дж. А. Черч, У. Кубаш, С. Эмори, П. Форстер, П. Фридлигштайн, Н. Жиллетт, Дж. М. Грегори, Д. Л. Хартманн, Э. Янсен, Б. Киртман, Р. Кнутти, К. Кришна Кумар, П. Лемке, И. Мароцке, В. Массон-Дельмотт, Дж. А. Михль, И. И. Мохов, Ш. Пьяо, В. Рамасвами, Д. Рэндалл, М. Рейн, М. Рохас, К. Сабин, Д. Шиндел, Л. Д. Толлей, Д. Г. Воан, Ш.-П. Се, 2013 г.: Техническое резюме. Содержится в публикации «Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата» [Т.Ф. Стокер, Д. Цинь, Дж.-К. Платтнер, М. Тигмор, С. К. Аллен, Дж. Бошунг, А. Науэлс, Ю. Ся, В. Бекс и П. М. Мидглей (редакторы)]. Кембридж юниверсити пресс, Кембридж, Соединенное Королевство, и Нью-Йорк, США.

Содержание

ТР.1 Введение	35
Вставка ТР.1: Трактовка неопределенности	36
ТР.2 Наблюдение изменений в климатической системе	37
ТР.2.1 Введение.....	37
ТР.2.2 Изменения температуры	37
ТР.2.3 Изменения энергетического баланса и теплосодержания	39
ТР.2.4 Изменения циркуляции и моды изменчивости	39
ТР.2.5 Изменения водного цикла и криосферы.....	40
ТР.2.6 Изменения уровня моря.....	46
ТР.2.7 Изменения экстремальных явлений	46
ТР.2.8 Изменение углеродного и других биогеохимических циклов.....	50
ТР.3 Факторы, влияющие на изменение климата	53
ТР.3.1 Введение.....	53
ТР.3.2 Радиационное воздействие парниковых газов	53
Вставка ТР.2: Радиационное воздействие и эффективное радиационное воздействие	53
ТР.3.3 Радиационное воздействие антропогенных аэрозолей.....	55
ТР.3.4 Радиационное воздействие, вызванное изменениями земной поверхности и конденсационными следами.....	55
ТР.3.5 Радиационное воздействие естественных факторов изменения климата.....	56
ТР.3.6 Обобщение воздействий; пространственная и временная эволюция.....	56
ТР.3.7 Климатические обратные связи	58
ТР.3.8 Метрические показатели выбросов	58
ТР.4 Понимание климатической системы и ее недавних изменений	60
ТР.4.1 Введение.....	60
ТР.4.2 Приземная температура.....	60
Вставка ТР.3: Климатические модели и прекращение повышения средней глобальной приземной температуры в последние 15 лет	61
ТР.4.3 Температура атмосферы	66
ТР.4.4 Океаны	68
ТР.4.5 Криосфера.....	69
ТР.4.6 Водный цикл.....	72
ТР.4.7 Экстремальные климатические явления.....	72
ТР.4.8 От глобального к региональному	73
Вставка ТР.4: Оценка моделей	75
Вставка ТР.5: Палеоклимат	77
ТР.5 Проекция изменения глобального и регионального климата	79
ТР.5.1 Введение.....	79
ТР.5.2 Будущее воздействие и сценарии.....	79
Вставка ТР.6: Новые сценарии репрезентативных траекторий концентраций и модели этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей	79
ТР.5.3 Количественная оценка реакции климатической системы	81
ТР.5.4 Краткосрочное изменение климата	81
ТР.5.5 Долгосрочное изменение климата.....	89
ТР.5.6 Долгосрочные проекции углеродного и других биогеохимических циклов	93
Вставка ТР.7: Методы климатического геоинжиниринга ..	98
ТР.5.7 Долгосрочные проекции изменения уровня моря	98
ТР.5.8 Климатические явления и изменение регионального климата	105
ТР.6 Ключевые неопределенности	114
ТР.6.1 Ключевые неопределенности в наблюдении изменений в климатической системе.....	114
ТР.6.2 Ключевые неопределенности факторов, влияющих на изменение климата	114
ТР.6.3 Ключевые неопределенности в понимании климатической системы и ее недавних изменений..	114
ТР.6.4 Ключевые неопределенности в проекциях изменения глобального и регионального климата ..	115
Фокусные элементы темы	
ФЭТ.1 Изменение водного цикла	42
ФЭТ.2 Изменение уровня моря: Научное понимание и неопределенности	47
ФЭТ.3 Сравнение проекций из предыдущих оценок МГЭИК с данными наблюдений	64
ФЭТ.4 Изменяющийся энергетический бюджет глобальной климатической системы	67
ФЭТ.5 Необратимость и резкое изменение	70
ФЭТ.6 Чувствительность климата и обратные климатические связи	82
ФЭТ.7 Возмущение и неопределенности углеродного цикла	96
ФЭТ.8 Климатические цели и стабилизация	102
ФЭТ.9 Экстремальные климатические явления	109
Дополнительный материал	
<i>Дополнительный материал имеется в онлайн-версиях доклада.</i>	

ТР.1 Введение

Публикация «Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа» представляет собой вклад Рабочей группы I (РГ I) в Пятый оценочный доклад (ОД5) Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Это всеобъемлющая оценка физических аспектов изменения климата, в которой сделан упор на тех элементах, которые актуальны для понимания прошлого, документирования настоящего и проекции будущего изменения климата. Оценка основывается на Четвертом докладе об оценке (ДО4) МГЭИК¹ и недавно выпущенном Специальном докладе по управлению рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата (СДЭБ)² и представлена в 14 главах и 3 приложениях. Главы включают описание прямых и косвенных наблюдений за изменениями, происходящими во всех компонентах климатической системы; оценивают современные знания о различных процессах внутри компонентов климатической системы и между ними, которые определяют чувствительность и отклик системы на изменения воздействия, а также взаимодействия между этими компонентами; и количественно определяют связь между изменениями атмосферных составляющих и, соответственно, радиационным воздействием (РВ)³ с последующим обнаружением и установлением причин изменения климата. Проекция изменений во всех компонентах климатической системы основаны на результатах модельных имитаций с использованием нового набора сценариев. Доклад также представляет всеобъемлющую оценку прошлых и будущих изменений уровня моря в соответствующей главе. Информация о региональном изменении климата представлена в форме Атласа глобальных и региональных климатических проекций (приложение I). Он дополнен приложением II: Таблицы сценариев для климатической системы, и приложением III: Глоссарий.

Первичной целью данного Технического резюме (ТР) является обеспечение связи между полной оценкой многочисленных данных независимых доказательств, представленных в 14 главах основного доклада, и весьма сжатым резюме, подготовленным в виде Резюме для политиков РГ I (РП). Техническое резюме таким образом служит в качестве отправной точки для тех читателей, которые ищут полную информацию о более конкретных вопросах, охваченных данной оценкой. Этой цели служит включение указателей на главы и разделы, в которых можно найти полную оценку. Вопросы, имеющие отношение к политике, которые встречаются во многих главах и охватывают многие взаимосвязанные процессы, происходящие в климатической системе, представлены здесь в качестве фокусных элементов темы (ФЭТ), которые позволяют быстро найти данную информацию.

Составной частью данного доклада является использование языка неопределенности, который позволяет проводить оценку с прослеживаемой связью (вставка ТР.1). Степень достоверности ключевых выводов этой оценки основана на оценках основополагающего научного понимания, проведенных группами авторов, и выражается посредством степени достоверности, определяемой типом, количеством, качеством и последовательностью доказательств и степенью согласованности в рассмотренных научных работах⁴. Достоверность выражается в виде качественного показателя. Количественные показатели неопределенности в выводе выражены в

вероятностном виде и основаны на комбинации статистических анализов данных наблюдений или результатов модельных расчетов, или тех и других, а также на экспертном заключении. Там, где это уместно, выводы также формулируются в виде констатаций фактов без использования качественных показателей неопределенности (более подробную информацию см. в главе 1 и вставке ТР.1)

Техническое резюме структурировано в виде четырех основных разделов, в которых представлены результаты оценки в соответствии с сюжетной линией вклада РГ I в ДО5: раздел ТР.2 охватывает оценку данных наблюдений за изменениями климатической системы; в разделе ТР.3 кратко изложена информация о различных факторах, как природных так и антропогенных, выраженных через показатели РВ; раздел ТР.4 представляет собой оценку количественного понимания наблюдаемого изменения климата; и в разделе ТР.5 кратко изложены результаты оценки проекций будущего изменения климата в XXI веке и в последующий период в масштабах от регионального до глобального. В разделе ТР.6 скомбинированы и перечислены ключевые неопределенности из оценки РГ I, содержащиеся в разделах ТР.2 - ТР.5. В общей сложности девять ФЭТ, охватывающих различные компоненты ОД5 РГ I, распределены по всем четырем основным разделам ТР и визуально выделены из основного текста, что позволяет прочитать их отдельно.

Обоснование основных пунктов настоящего Технического резюме можно найти в разделах глав базового доклада. Соответствующие ссылки даются в фигурных скобках.

¹ МГЭИК, 2007 г.: *Изменение климата, 2007 г.: Физическая научная основа*. Вклад Рабочей группы I в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. [С. Соломон, Д. Цинь, М. Мэннинг, Чж. Чэнь, М. Маркис, К. В.Эверит, М. Тигнор и Х. Л. Миллер (ред.)]. Кембридж юниверсити пресс, Кембридж, Соединенное Королевство, и Нью-Йорк, США, 996 стр. англ. текста.

² МГЭИК, 2012 г.: *Управление рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата. Специальный доклад рабочих групп I и II Межправительственной группы экспертов по изменению климата* [К. Б. Филд, В. Баррос, Т. Ф. Стоккер, Д. Цинь, Д. Д. Доккен, К. Л. Эби, М. Д. Мастрандреа, К. Дж. Мэч, Дж.-К. Платтнер, С. К. Аллен, М. Тигнор и П. Мидглей (ред.)]. Кембридж юниверсити пресс, Кембридж, Соединенное Королевство, и Нью-Йорк, США, 582 стр. англ. текста.

³ Радиационное воздействие (РВ) является мерой определения результирующего изменения климата в энергетическом балансе системы Земля в ответ на некоторые внешние возмущения. Оно выражается в ваттах на квадратный метр ($Вт м^{-2}$); см. вставку ТР.2

⁴ М. Д. Мастрандреа, К. Б. Филд, Т. Ф. Стоккер, О. Эденхофер, К. Л. Эби, Д. Дж. Фрейм, Х. Хелд, Э. Криглер, К. Дж. Мак, П. Р. Матшосс, Г.-К. Платтнер, Г. В. Йохе, и Ф. В.Звиерс, 2010 г.: *Директивная записка для ведущих авторов Пятого оценочного доклада МГЭИК по согласованной трактовке неопределенностей*. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Вставка ТР.1 Трактовка неопределенности

В соответствии с директивной запиской по согласованной трактовке неопределенностей, предназначенной для ведущих авторов Пятого оценочного доклада МГЭИК, в настоящем Техническом резюме РГ I и Резюме для политиков РГ I используются два метрических показателя для сообщения степени определенности в ключевых выводах, которая основана на оценках базового научного понимания, выполненных группами авторов:

- Достоверность правильности вывода, основанная на типе, количестве, качестве и последовательности доказательств (например, механистическое понимание, теория, данные, модели, экспертное заключение) и степени согласованности. Достоверность выражается в виде качественного показателя.
- Количественные меры неопределенности вывода, выраженные в вероятностной форме (на основе статистического анализа данных наблюдений или результатов моделей или экспертного заключения).

Директивная записка к ДО5 обновляет руководящие указания, сформулированные с целью оказания поддержки Третьему и Четвертому докладам об оценке МГЭИК. Прямые сравнения между оценкой неопределенностей в выводах этого доклада и выводами, содержащимися в ДО4 и СДЭБ, являются затруднительными в связи с применением пересмотренной директивной записки о неопределенностях, а также наличием новой информации, углублением научного понимания, проведением непрерывного анализа данных и моделей и существованием конкретных различий в методологиях, применяемых в прошедших оценку исследованиях. По некоторым климатическим переменным явлениям была проведена оценка разных аспектов, и поэтому прямое сравнение было бы нецелесообразным.

Каждый ключевой вывод основан на оценке соответствующих доказательств и согласованности, проведенной группой авторов. Метрический показатель достоверности обеспечивает качественное обобщение заключения авторской группы относительно обоснованности вывода, которое выносится посредством оценки доказательств и согласованности. Если неопределенности могут быть количественно определены в вероятностной форме, то авторская группа может охарактеризовать вывод, используя выверенную терминологию в отношении правдоподобия или более точное представление вероятности. Если не указано иного, высокая или очень высокая степень достоверности связана с выводами, в отношении которых авторская группа использовала термин «правдоподобие».

Для описания имеющихся доказательств используются следующие краткие термины: ограниченный, средний или четкий; а для степени согласованности: низкая, средняя или высокая. Степень достоверности выражается посредством пяти качественных оценок: весьма низкая, низкая, средняя, высокая и весьма высокая, а также посредством выделения текста курсивом, например *средняя степень достоверности*. На рисунке 1 вставки ТР.1 представлены краткие заявления в отношении доказательств, согласованности и их соотношения с достоверностью. Это соотношение является гибким; для данного заявления в отношении доказательств и согласованности могут использоваться различные степени достоверности, но при этом повышение уровней доказательств и степени согласованности коррелирует с повышением степени достоверности.



Вставка ТР.1, рисунок 1 | Описание заявлений в отношении доказательств и согласованности и их соотношение с достоверностью. Достоверность повышается в направлении верхнего правого угла, что показано усилением затенения. Обычно доказательства являются самыми четкими, когда имеются многочисленные последовательные отдельные линии высокого качества. {Рисунок 1.11}

Для указания оцененного правдоподобия использованы и выделены курсивом следующие термины:

Термин*	Правдоподобие результата
<i>Практически определено</i>	Вероятность 99-100%
<i>Весьма вероятно</i>	Вероятность 90-100%
<i>Вероятно</i>	Вероятность 66-100%
<i>Почти также вероятно, как и нет</i>	Вероятность 33-66%
<i>Маловероятно</i>	Вероятность 0-33%
<i>Весьма маловероятно</i>	Вероятность 0-10%
<i>Исключительно маловероятно</i>	Вероятность 0-1%

* Дополнительные термины (*крайне вероятно*: вероятность 95-100%; *скорее вероятно, чем нет*: вероятность > 50-100%; и *крайне маловероятно*: вероятность 0-5%) могут также использоваться в случае необходимости.

ТР.2 Наблюдение изменений в климатической системе

ТР.2.1 Введение

В основе наблюдений за климатической системой лежат прямые физические и биогеохимические измерения и дистанционное зондирование, осуществляемое с наземных станций и со спутников; информация, полученная из палеоклиматических архивов, обеспечивает долгосрочный контекст. Наблюдения в глобальном масштабе начались в середине XIX века с наступлением эры инструментальных измерений, а реконструкции палеоклимата расширили ряды данных некоторых величин в прошлое на период от сотен до миллионов лет. В своей совокупности они дают всестороннее представление об изменчивости и долгосрочных изменениях в атмосфере, океане, криосфере и на поверхности суши.

В данном разделе содержится краткая оценка доказательств изменения климата, полученных на основе наблюдений. Со времени ДО4 были достигнуты значительные достижения в области доступности, приобретения, качества и анализа наборов данных наблюдений за атмосферой, поверхностью суши, океаном и криосферой. Многие аспекты климатической системы свидетельствуют об изменении климата. {2, 3, 4, 5, 6, 13}

ТР.2.2 Изменения температуры

ТР.2.2.1 Поверхность

Несомненно, что средняя глобальная приземная температура (СГПТ) повысилась с конца XIX века (рисунки ТР.1 и ТР.2). Каждое из трех последних десятилетий характеризовалось более высокой температурой у поверхности Земли по сравнению с любым предыдущим десятилетием за период инструментальных наблюдений, а десятилетие, начавшееся в 2000 г., было самым теплым. Глобально осредненные совокупные данные о температуре поверхности суши и океана, рассчитанные на основе линейного тренда⁵, свидетельствуют о потеплении на 0,85 [0,65 - 1,06]°C за период 1880-2012 гг., за который имеются многочисленные независимо полученные массивы данных, примерно на 0,89 [0,69 - 1,08]°C за период 1901-2012 гг., и примерно на 0,72 [0,49 - 0,89]°C за период 1951-2012 гг., при этом расчеты основывались на трех независимо полученных комплексах данных. Общее увеличение среднего показателя за период 2003-2012 гг. по сравнению с периодом 1850-1900 гг. составляет 0,78 [0,72 - 0,85]°C и рассчитано на основе версии 4 данных о приземной температуре воздуха в узлах сетки Отдела исследований климата Центра Хэдли (HadCRUT4), которая является самой длительной записью трех независимо полученных наборов данных. Потепление в период с 1850-1900 гг. до 1986-2005 гг. (эталонный период для глав, посвященных моделированию, и Атласа, приведенного в приложении I) составляет 0,61 [0,55 - 0,67] °C, исходя из расчетов с использованием HadCRUT4 и оценки соответствующих неопределенностей. Также, *практически определено*, что максимальные и минимальные температуры над сушей повысились в глобальном масштабе с 1950 г.³. {2.4.1, 2.4.3; глава 2, раздел 2.SM.3 Дополнительного материала}

Несмотря на устойчивое потепление на протяжении нескольких десятилетий, имеет место значительная изменчивость скорости потепления в масштабах от межгодовой до десятилетий, при этом несколько периодов характеризовались более слабыми трендами (включая отсутствие потепления с 1998 г.) (рисунок ТР.1). Темпы потепления за последние 15 лет (1998-2012 гг.; 0,05 [от - 0,05 до +0,15]°C за десятилетие) меньше, чем тренд с 1951 г. (1951-2012 гг.; 0,12 [0,08 - 0,14]°C за десятилетие). Тренды для коротких периодов являются неопределенными и весьма чувствительны к начальным и конечным годам. Например, тренды для 15-летних периодов, начиная с 1995, 1996 и 1997 гг., составляют 0,13 [0,02 - 0,24]°C, 0,14 [0,03 - 0,24]°C и 0,07 [от -0,02 до 0,18]°C за десятилетие соответственно. Несколько независимо проанализированных рядов данных о глобальной и региональной приземной температуре воздуха, полученных в результате наблюдений со станций, полностью подтверждают тот факт, что приземная температура воздуха повысилась. Температура поверхности моря (ТПМ) также повысилась. Взаимные сравнения новых записей данных о ТПМ, полученных с помощью различных методов измерений, включая спутниковые данные, позволили лучше понимать ошибки и погрешности в рядах данных. {2.4.1-2.4.3; вставка 9.2}

Маловероятно, что любые нескорректированные эффекты городского острова тепла и эффекты изменений в землепользовании усилили оценочные тренды глобально осредненной за столетие приземной температуры воздуха более чем на 10% по сравнению с заявленными трендами. Это среднее значение; в некоторых регионах, в которых произошло быстрое развитие городских островов тепла и изменений в землепользовании, воздействия на региональные тренды могут быть значительно большими. {2.4.1}

Существует *высокая степень достоверности* того, что повышение среднегодовой глобальной приземной температуры с XX века изменило на обратные долгосрочные тренды похолодания за последние 5 000 лет в пределах от средних до высоких широт Северного полушария (СП). Для среднегодовых температур СП период 1983-2012 гг. был, *весьма вероятно*, самым теплым 30-летним периодом за последние 800 лет (*высокая степень достоверности*) и, вероятно, самым теплым 30-летним периодом за последние 1 400 лет (средняя степень достоверности). Это подтверждается сравнением данных инструментальных наблюдений за температурой со множественными реконструкциями, выполненными на основе различных косвенных данных и статистических методов, и согласуется с ДО4. Реконструкции значений приземной температуры в континентальном масштабе показывают с *высокой степенью достоверности* наличие многодесятилетних периодов во время средневековой климатической аномалии (950-1250 гг.), которые были в одних регионах такими же теплыми, как и в середине XX века, а в других такими же теплыми, как и в конце XX века. Существует *высокая степень достоверности* того, что эти региональные теплые периоды не были столь синхронными в разных регионах, как потепление с середины XX века. На основе сравнений результатов реконструкций и имитационных моделирований можно сказать с *высокой степенью достоверности*, что не только внешнее орбитальное, солнечное и вулканическое воздействие, но также и внутренняя изменчивость внесли значительный вклад в пространственную структуру и временные рамки изменений приземной температуры в период между средневековой климатической аномалией и малым ледниковым периодом (1450-1850 гг.). {5.3.5, 5.5.1}

- ⁵ Потепление представляется в виде невзвешенного среднего значения, основанного на оценках линейных трендов, рассчитанных по версии 4 данных о приземной температуре воздуха в узлах сетки Отдела исследований климата Центра Хэдли (HadCRUT4), по наборам данных объединенного анализа приземной температуры – температур поверхности океана (MLOST) и анализа приземной температуры Института космических исследований Годдарда (GISTEMP) (см. рисунок ТР.2; раздел 2.4.3).
- ⁶ Во вкладе РГ I в ОД5 при количественной оценке неопределенности используются 90-процентные интервалы неопределенности, если не указывается иное. 90-процентный интервал неопределенности, указанный в квадратных скобках, охватывает, как предполагается, оцениваемую величину с вероятностью в 90%. Верхнее предельное значение интервала неопределенности показывает 95% вероятности превышения значения, которое оценивается, а нижнее предельное значение свидетельствует о 95% вероятности того, что это значение ниже. Наилучшая оценка этой величины также приводится, если она имеется. Интервалы неопределенности не обязательно являются симметричными относительно соответствующей наилучшей оценки.
- ⁷ Оба метода, представленные в этом пункте для расчета изменения температуры, также использовались в ДО4. С помощью первого разницы рассчитывается посредством использования линейного тренда всех точек между двумя годами, например, 1880 и 2012 гг. Посредством второго метода оценивается разница между средними значениями для двух периодов, например, 1850-1900 гг. и 2003-2012 гг. Вследствие этого результирующие значения и их 90-процентные интервалы неопределенности не являются непосредственно сопоставимыми.

ТР.2.2.2 Тропосфера и стратосфера

Основываясь на многочисленных независимых анализах измерений, полученных с помощью радиозондов и спутниковых сенсоров, *практически определено*, что в глобальном масштабе в период с середины XX века произошло потепление тропосферы и охлаждение стратосферы (рисунок ТР.1). Несмотря на единодушное согласие относительно знака трендов, имеются значительные несоответствия между оценками темпов температурных изменений, особенно за пределами внетропической тропосферы СП, где проводились многочисленные замеры с помощью радиозондов. Соответственно, существует только *средняя степень достоверности* в отношении скорости изменения и ее вертикальной структуры во внетропической тропосфере СП, и *низкая степень достоверности* в отношении других мест. {2.4.4}

ТР.2.2.3 Океан

Практически определено, что с 1971 г. по 2010 г. происходило потепление верхних слоев океана (выше 700 м), и, *вероятно*, их потепление с 1870-х годов по 1971 г. (рисунок ТР.1). Меньшей достоверностью характеризуются изменения в период до 1971 г., что объясняется относительно редкими выборочными измерениями в более ранние временные периоды. После Д04 погрешности в исторических данных инструментальных измерений температуры верхних слоев океана были выявлены и снижены, в результате чего уменьшилась искусственная декадная изменчивость температуры и содержания тепла в верхних слоях океана, которая было наиболее значительной в 1970-х и 1980-х годах. {3.2.1-3.2.3, 3.5.3}

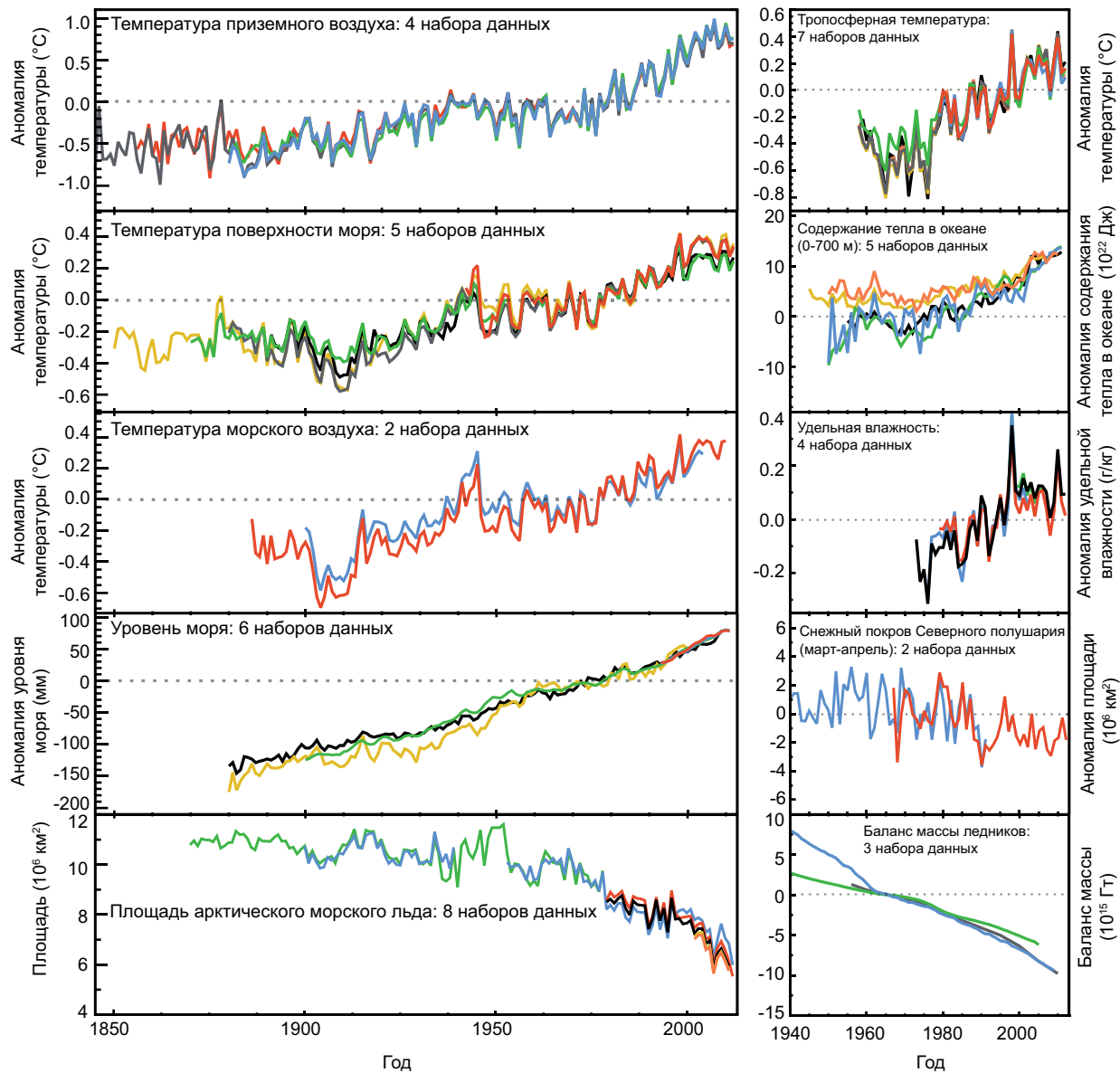


Рисунок ТР.1 | Многие дополнительные показатели изменяющегося глобального климата. Каждая линия представляет независимо полученные оценки изменения климатического элемента. Оценочные временные ряды приведены в главах 2, 3 и 4. На каждом графическом изображении все наборы данных были приведены в соответствие с общим периодом записей. Полная информация о том, какие источники наборов данных относятся к каждому изображению, дается в главе 2, раздел 2.5M.5. Дополнительного материала и в соответствующих главах. Более подробная информация, относящаяся к соответствующему рисунку РП.3, приведена в Дополнительном материале ТР. {3В 2.1, рисунок 1; 2.4, 2.5, 3.2, 3.7, 4.5.2, 4.5.3}

Вероятно, что с 1957 по 2009 гг., согласно 5-летним средним показателям, происходило потепление океана на глубине от 700 до 2 000 м. Вероятно, что с 1992 по 2005 гг. происходило потепление океана на глубине от 3 000 м до его дна, при этом никаких значительных трендов средней глобальной температуры на глубине от 2 000 до 3 000 м не наблюдалось приблизительно с 1992 по 2005 гг. Ниже глубины 3 000 м самое большое потепление наблюдалось в Южном океане. {3.2.4, 3.5.1; рисунки 3.2б, 3.3; ЧЗВ 3.1}

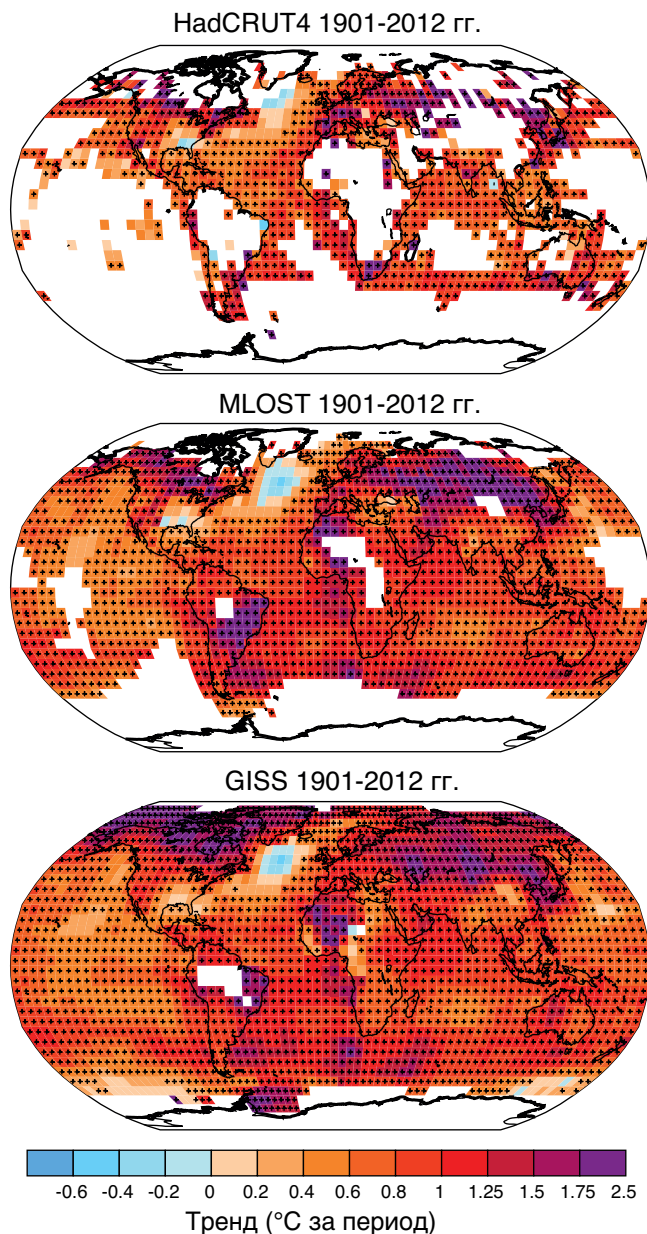


Рисунок TP.2 | Изменение температуры поверхности за период 1901-2012 гг., определенное с использованием линейных трендов для трех наборов данных. Белым цветом показаны области, в которых данные неполные или отсутствуют. Тренды были рассчитаны только для ячеек сетки с наличием более 70% полного объема данных и более 20% имеющихся данных за первые и последние 10% временного периода. Знаки «плюс» черного цвета (+) показывают ячейки сетки, где тренды значительны (т. е. нулевой тренд лежит за пределами доверительного интервала 90%). Расхождения в охвате главным образом отражают степень интерполяции для учета регионов, в которых данные отсутствуют, предпринятой поставщиками наборов данных, при этом интерполяция может не выходить за пределы осреднения по ячейке сетки (версия 4 данных о приземной температуре воздуха в узлах сетки, Отдел исследований климата Центр Хэдли (HadCRUT4)) или может выходить за нее (анализ приземной температуры Института космических исследований Годдарда (GISTEMP)). Более подробная информация, относящаяся к соответствующему рисунку РП.1, приведена в Дополнительном материале TP. {Рисунок 2.21}

TP.2.3 Изменения энергетического баланса и теплосодержания

Земля находилась в радиационном дисбалансе, при котором больше энергии поступало от Солнца, чем выходило за верхние слои атмосферы, по крайней мере с 1970 г. Практически определено, что Земля получила значительное количество энергии за период с 1971 по 2010 гг. По оценкам увеличение количества энергии между 1971 и 2010 гг. составляет $274 [196 - 351] \times 10^{21}$ Дж (высокая степень достоверности), с интенсивностью нагрева 213×10^{12} Вт при линейном приближении до годовых значений за тот период времени (см. также ФЭТ.4). {Вставка 3.1, 13.1}

Повышение температуры океана превосходит эти общие темпы нагрева, причем на долю потепления всей толщи океана приходится около 93% (высокая степень достоверности), а на потепление верхних слоев океана (0 - 700 м) порядка 64%. На таяние льда (включая морской лед, ледяные щиты и ледники Арктики) и на потепление каждого из континентов приходится 3% общего показателя потепления. На потепление атмосферы приходится оставшийся 1%. Оценочная скорость поступления энергии в океан за период 1971-2010 гг. составляет 199×10^{12} Вт при линейном приближении до данных за тот период времени, что эквивалентно $0,42$ Вт м^{-2} нагревания, отнесенного непрерывно ко всей поверхности Земли, и $0,55$ Вт м^{-2} для доли, обусловленной потеплением океана, отнесенной ко всей площади поверхности океана. По оценкам увеличение энергии Земли за период с 1993 по 2010 гг. составляет $163 [127 - 201] \times 10^{21}$ Дж, а оценка тренда - 275×10^{15} Вт. Океанская часть тренда за период 1993-2010 гг., составляет 257×10^{12} Вт, что эквивалентно среднему потоку тепла в океан, равному $0,71$ Вт м^{-2} . {3.2.3, 3.2.4; вставка 3.1}

Почти также вероятно, как и нет, что теплосодержание океана на глубине 0-700 м увеличивалось более медленно в 2003-2010 гг., чем в 1993-2002 гг. (см. рисунок TP.1). Поглощение тепла океаном на глубине 700 - 2 000 м, где межгодовая изменчивость является менее значительной, продолжалось, вероятно, непрерывно с 1993 по 2009 гг. {3.2.3, 3.2.4; вставка 9.2}

TP.2.4 Изменения циркуляции и моды изменчивости

Значительная изменчивость в масштабах от межгодовой до десятилетней мешает во многих случаях делать четкие выводы относительно долгосрочных изменений циркуляции атмосферы. Имеется высокая степень достоверности того, что усиление западных ветров в средних широтах Северного полушария и индекс Североатлантического колебания (САК) с 1950-х по 1990-е годы, а также ослабление Тихоокеанской циркуляции Уолкера с конца XIX века по 1990-е годы в значительной степени компенсировались недавними изменениями. Существует высокая степень достоверности того, что изменения зимнего индекса САК в масштабах от одного до многих десятилетий, наблюдаемые с XX столетия, не являются беспрецедентными в контексте последних 500 лет. {2.7.2, 2.7.5, 2.7.8, 5.4.2; вставка 2.5; таблица 2.14}

Вероятно, что характерные параметры циркуляции сместились к полюсам после 1970-х годов, включая расширение тропического пояса, сдвиг в направлении полюсов траекторий циклонов и струйных потоков, а также сжатие северного циркумполярного вихря. Для СП имеются более обоснованные доказательства. Вероятно, что Южная кольцевая мода (ЮКМ) стала более положительной с 1950-х годов. Усиление наблюдаемой летом ЮКМ с 1950-х годов было аномальным (средняя степень достоверности) в контексте последних 400 лет. {2.7.5, 2.7.6, 2.7.8, 5.4.2; вставка 2.5; таблица 2.14}

Новые результаты высокоточного анализа данных по кораллам документально показывают с высокой степенью достоверности, что система Эль-Ниньо - Южное колебание (ЭНЮК) оставалась крайне нестабильной последние 7 000 лет, при этом нет очевидных доказательств орбитальной модуляции ЭНЮК. {5.4.1}

Недавние наблюдения укрепили доказательство изменчивости основных систем циркуляции океана во временных масштабах от нескольких лет до десятилетий. *Весьма вероятно*, что субтропические круговые циркуляции северной и южной частей Тихого океана расширились и усилились с 1993 г. На основе измерений Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции (АМОЦ) и ее отдельных компонентов на различных широтах в различные периоды времени можно сказать, что доказательств долгосрочного тренда нет. Также нет доказательств существования трендов переноса индонезийского потока, Антарктического циркумполярного течения (АЦПТ) или переноса между Атлантическим океаном и северными морями. Однако, южный сдвиг АЦПТ примерно на 1° широты наблюдается на основе данных за период 1950-2010 гг. (*средняя степень достоверности*). {3.6}

ТР.2.5 Изменения водного цикла и криосферы

ТР.2.5.1 Атмосфера

Степень достоверности изменения количества осадков, осредненного по всем районам суши в глобальном масштабе, является *низкой* за период до 1951 г. и *средней* за последующий период вследствие недостаточности данных, особенно на более раннем этапе ведения записей (в отношении обзора наблюдаемых изменений и проекций изменений глобального водного цикла см. Тб.1). Также, если все области суши практически задействованы с использованием метода реконструкции, то результирующие временные ряды показывают незначительное изменение осадков над сушей с 1901 г. Области суши, расположенные в средних широтах СП, показывают все же общее увеличение, *вероятно*, количества осадков (*средняя степень достоверности* до 1951 г., но *высокая степень достоверности* в последующий период). Для других широт осредненные по площади долгосрочные положительные или отрицательные тренды характеризуются *низкой степенью достоверности* (Тб.1, рисунок 1). {2.5.1}

В глобальном масштабе удельная влажность воздуха около поверхности Земли и в тропосфере, *весьма вероятно*, повысилась с 1970-х годов. Однако, за последние годы тренд приземной влажности ослабел (*средняя степень достоверности*) (рисунок ТР.1). В результате над поверхностью суши в последние годы наблюдается достаточно распространенное уменьшение относительной влажности. {2.4.4, 2.5.5, 2.5.6}

Несмотря на то, что тренды облачного покрова, полученные на основе независимых наборов данных, согласуются между собой в определенных регионах, сохраняется значительная неопределенность и соответственно *низкая степень достоверности* в отношении данных наблюдений за изменчивостью и трендами облаков в глобальном масштабе. {2.5.7}

ТР.2.5.2 Океаны и поверхностные потоки

Весьма вероятно, что региональные тренды усилили среднюю контрастность солености на поверхности моря с точки зрения географического распределения с 1950-х годов: соленые поверхностные воды в средних широтах, где доминирует испарение, стали более солеными, в то время как относительно пресные поверхностные воды в тропических и полярных регионах, где доминируют осадки, стали более пресными. Средний контраст между регионами с сильной и слабой соленостью увеличился на 0,13 [0,08 - 0,17] с 1950 по 2008 гг. *Весьма вероятно*, что контраст в отношении содержания пресной воды между бассейнами увеличился: Атлантика стала более соленой, а Тихий и Южный океаны стали более пресными. Хотя подобные выводы были сделаны в Д04, недавние исследования, основанные на расширенных наборах данных и анализе с использованием новых подходов, обеспечивают *высокую степень достоверности* этой оценки. {3.3.2, 3.3.3, 3.9; ЧЗВ 3.2}

Пространственные конфигурации трендов солености, средней солености и среднего распределения испарения за вычетом осадков являются аналогичными (ФЭТ.1, рисунок 1). Эти аналогии обеспечивают косвенное доказательство того, что конфигурация испарения над океанами за вычетом осадков расширилась

с 1950-х годов (*средняя степень достоверности*). Неопределенности в отношении имеющихся в настоящее время поверхностных потоков не позволяют надежным образом использовать данные о потоках для определения трендов регионального или глобального распределения испарения или осадков над океанами во временном масштабе наблюдаемых изменений солености после 1950-х годов. {3.3.2-3.3.4, 3.4.2, 3.4.3, 3.9; ЧЗВ 3.2}

ТР.2.5.3 Морской лед

Продолжился тренд, отмеченный в Д04, и существует *весьма высокая степень достоверности* того, что площадь арктического морского льда (годового, многолетнего и старше двух лет) уменьшилась за период 1979-2012 гг. (рисунок ТР.1). Темпы ежегодного уменьшения, *весьма вероятно*, составляют 3,5 - 4,1% за десять лет (диапазон 0,45 - 0,51 млн. км² за десятилетие). Наиболее быстрое среднее уменьшение десятилетней площади сезонного морского льда Северного Ледовитого океана наблюдается летом и осенью (*высокая степень достоверности*), при этом площадь уменьшается в каждом сезоне и в каждом последовательном десятилетии с 1979 г. (*высокая степень достоверности*). Площадь более чем двухлетнего и многолетнего арктического льда уменьшилась с 1979 по 2012 гг. (*весьма высокая степень достоверности*). Темпы, *весьма вероятно*, составляли 11,5 [9,4 - 13,6] % за десятилетие (0,73 - 1,07 млн. км² за десятилетие) в отношении площади морского льда в летний минимум (однолетний лед) и, *весьма вероятно*, 13,5 [11 - 16] % за десятилетие в отношении многолетнего льда. Существует *средняя степень достоверности*, основанная на реконструкциях, того, что текущее (1980-2012 гг.) отступление арктического летнего морского льда было беспрецедентным, а ТПМ были аномально высокими по меньшей мере за последние 1 450 лет. {4.2.2, 5.5.2}

Вероятно, что годовой период поверхностного таяния арктического льда старше двух лет продлился на 5,7 [4,8 - 6,6] дней в десятилетие за период 1979-2012 гг. За данный период в регионе между Восточно-Сибирским морем и западной частью моря Бофорта продолжительность условий безо льда увеличилась почти на три месяца. {4.2.2}

Существует *высокая степень достоверности* того, что средняя толщина морского зимнего льда в бассейне Северного Ледовитого океана уменьшилась между 1980 и 2008 гг. Среднее уменьшение составляло, *вероятно*, от 1,3 до 2,3 м. *Высокая степень достоверности* данной оценки основана на данных наблюдений из нескольких источников: подводных лодок, электромагнитных датчиков и спутниковой альтиметрии; и согласуется с сокращением площади многолетнего льда и льда старше двух лет. Спутниковые измерения, проведенные за период с 2010-2012 гг. показывают уменьшение объема морского льда по сравнению с данными измерений, сделанных за период 2003-2008 гг. (*средняя степень достоверности*). Существует *высокая степень достоверности* того, что в Арктике толщина морского льда уменьшилась, а скорость дрейфа морского льда увеличилась. {4.2.2}

С 1979 по 2012 гг. ежегодная протяженность антарктического морского льда, *весьма вероятно*, увеличивалась со скоростью от 1,2 до 1,8 % за десятилетие (0,13 - 0,20 млн км² за десятилетие) (*весьма высокая степень достоверности*). Более значительное увеличение площади морского льда наблюдалось вследствие уменьшения доли открытой воды внутри ледяного пака. Существует *высокая степень достоверности* значительных региональных различий этих среднегодовых темпов, при этом в некоторых регионах эта площадь/область увеличивается, а в других уменьшается. Также наблюдается контраст между одними регионами вокруг Антарктики, в которых продлился сезон безо льда, и другими, в которых он уменьшился за период спутниковых наблюдений (*высокая степень достоверности*). {4.2.3}

ТР.2.5.4 Ледники и ледяные щиты

Существует *весьма высокая степень достоверности* того, что ледники по всему миру постоянно сокращаются, что показывают временные ряды

измеренных изменений протяженности, объема и массы ледников (рисунки ТР.1 и ТР.3). Некоторые немногие исключения ограничены по регионам и во времени. Количество измерений изменения ледников значительно увеличилось со времени выхода Д04. Большинство новых наборов данных наряду с глобально полной инвентаризацией ледников были получены с использованием спутникового дистанционного зондирования. {4.3.1, 4.3.3}

Существует *весьма высокая степень достоверности* того, что за последнее десятилетие самые значительные вклады в глобальную потерю ледникового льда внесли ледники Аляски, канадской Арктики, периферийной части Гренландского ледяного щита, Южных Анд и азиатских гор. Вместе на эти области приходится более 80% общего объема потерь льда. Общая масса потери льда из всех ледников в мире, за исключением ледников, находящихся по периферии ледяных щитов, составила, *весьма вероятно*, 226 [91 - 361] Гт год⁻¹ (в эквиваленте уровня моря - 0,62 [0,25 - 0,99] мм год⁻¹) в период 1971-2009 гг., 275 [140 - 410] Гт год⁻¹ (0,76 [0,39 - 1,13] мм год⁻¹) в период 1993-2009 гг., и 301 [166 - 436] Гт год⁻¹ (0,83 [0,46 - 1,20] мм год⁻¹) между 2005 и 2009 гг.⁸ {4.3.3; таблицы 4.4, 4.5}

Существует *высокая степень достоверности* того, что современная площадь ледниковых покровов не уравнивается текущими климатическими условиями, и это указывает на то, что ледники будут продолжать сокращаться в будущем даже без дальнейшего повышения температуры. {4.3.3}

Существует *весьма высокая степень достоверности* того, что Гренландский ледяной щит терял лед последние двадцать лет. Комбинация данных, полученных в результате дистанционного зондирования со спутника и с борта воздушного судна, в сочетании с данными наблюдений на местах указывают с *высокой степенью достоверности* на то, что потеря льда произошла в нескольких секторах и что более высокие темпы потери льда распространились на более обширные регионы по сравнению с теми, о которых сообщалось в Д04 (рисунок ТР.3). Существует *высокая степень достоверности* того, что потеря массы льда Гренландского щита ускорилась с 1992 г.: средние темпы, *весьма вероятно*, ускорились с 34 [с - 6 до 74] Гт год⁻¹ за период 1992-2001 гг. (в эквиваленте уровня моря - 0,09 [с - 0,02 до 0,20] мм год⁻¹) и до 215 [157 - 274] Гт год⁻¹ за период 2002-2011 гг. (0,59 [0,43 - 0,76] мм год⁻¹). Существует *высокая степень достоверности* того, что потеря льда в Гренландии произошла в результате усиления таяния поверхностного льда и стока, а также увеличения сброса выводных ледников, и это происходило в равных объемах. Существует *высокая степень достоверности* того, что за последние два десятилетия увеличилась площадь, подверженная летнему таянию. {4.4.2, 4.4.3}

Существует *высокая степень достоверности* того, что Антарктический ледяной щит терял лед в течение последних двадцати лет (рисунок ТР.3). Существует *весьма высокая степень достоверности* того, что эти потери происходят главным образом в северной части Антарктического полуострова и в секторе моря Амундсена в Западной Антарктике, и

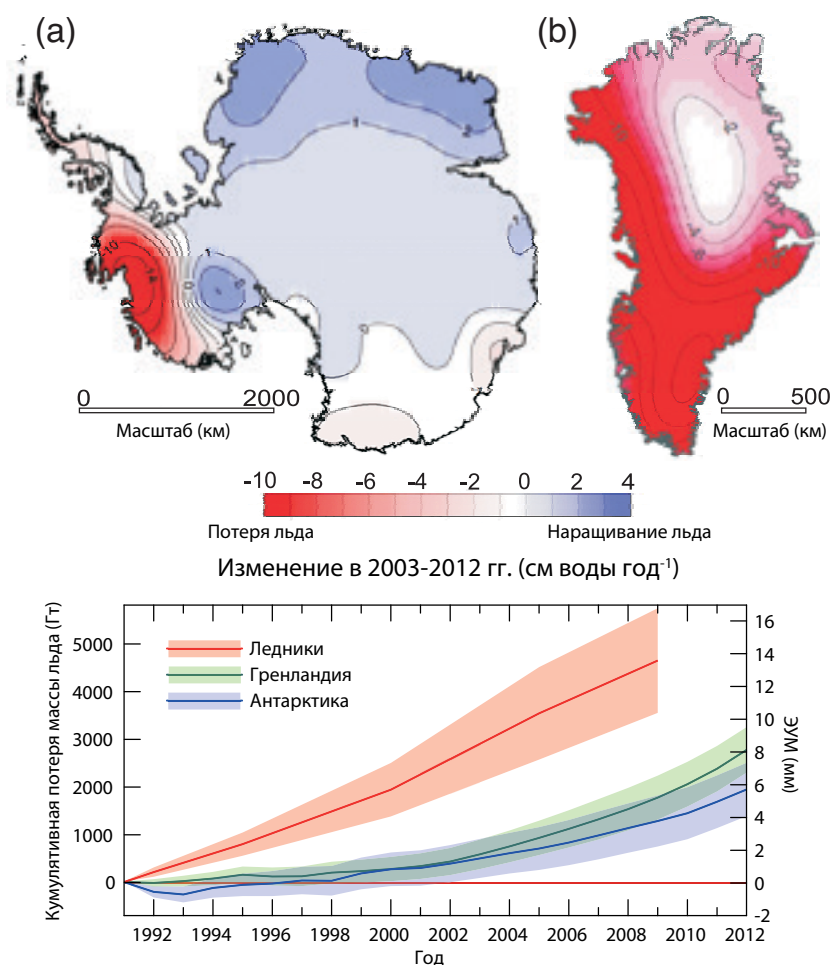


Рисунок ТР.3 | (Верхняя часть) Распределение потерь морского льда, определяемое посредством измерения меняющегося во времени гравитационного поля, осуществляемого в рамках Эксперимента по измерению гравитационных полей и изучению климата (GRACE), для а) Антарктики и б) Гренландии. Оно показано в сантиметрах воды в год (см воды год⁻¹) за период 2003-2012 гг. (Нижняя часть) Оценка общей потери льда из ледников и ледяных щитов в показателях массы (Гт) и эквиваленте уровня моря (мм). Вклад ледников не учитывает долю потери льда по периферии ледяных щитов. {4.3.4; рисунки 4.12-4.14, 4.16, 4.17, 4.25}

⁸ Потеря льда в 100 Гт год⁻¹ соответствует примерно 0,28 мм год⁻¹ в эквиваленте уровня моря.

Фокусные элементы темы

ФЭТ.1 | Изменение водного цикла

Водный цикл описывает непрерывное движение воды в климатической системе в ее жидкой, твердой и газообразной формах, а также хранение в резервуарах - океанах, криосфере, на земной поверхности и в атмосфере. В атмосфере вода присутствует в основном в виде газа - водяного пара, но также встречается в виде льда и жидкой воды в облаках. Океан представляет собой преимущественно жидкую воду и частично покрыт льдом в полярных регионах. Вода на суше в жидкой форме включает поверхностные воды (реки, озера), влагу почв и подземные воды. Вода на суше в твердой форме включает ледяные щиты, ледники, снег и лед на поверхности, а также многолетнюю мерзлоту. Движение воды в климатической системе существенно важно для жизни на земле, поскольку то количество воды, которое выпадает на сушу в виде осадков и обеспечивает увлажнение почвы и речной сток, испарилось из океана и было перенесено на сушу через атмосферу. Вода, которая выпадает в виде снега зимой, может обеспечить увлажнение почвы в весенний период и речной сток в летний период, и является существенно важной как для природных, так и для антропогенных систем. Перемещение пресной воды между атмосферой и океаном может также влиять на соленость океана, которая является фактором плотности и циркуляции океана. Содержание скрытого тепла в водяном паре, присутствующем в атмосфере, существенно важно для циркуляции атмосферы в масштабах от отдельных гроз до глобальной циркуляции атмосферы. {12.4.5; ЧЗВ 3.2, ЧЗВ 12.2}

Наблюдения за изменением водного цикла

В связи с тем, что упругость насыщенного пара, содержащегося в воздухе, повышается с повышением температуры, ожидается, что количество водяного пара в воздухе увеличится с потеплением климата. Данные наблюдений с наземных станций, радиозондов, глобальных систем определения местоположения и спутниковых измерений указывают на увеличение количества водяного пара в тропосфере в значительных пространственных масштабах (ФЭТ.1, рисунок 1). *Весьма вероятно*, что удельная влажность тропосферы повысилась с 1970-х годов. Величина наблюдаемых глобальных изменений содержания тропосферного водяного пара, составляющая примерно 3,5% за последние 40 лет, согласуется с наблюдаемым изменением температуры, составляющим около 0,5°C за тот же период, при этом относительная влажность практически не изменилась. Изменение количества водяного пара может быть связано с воздействием человека (*средняя степень достоверности*). {2.5.4, 10.3.2}

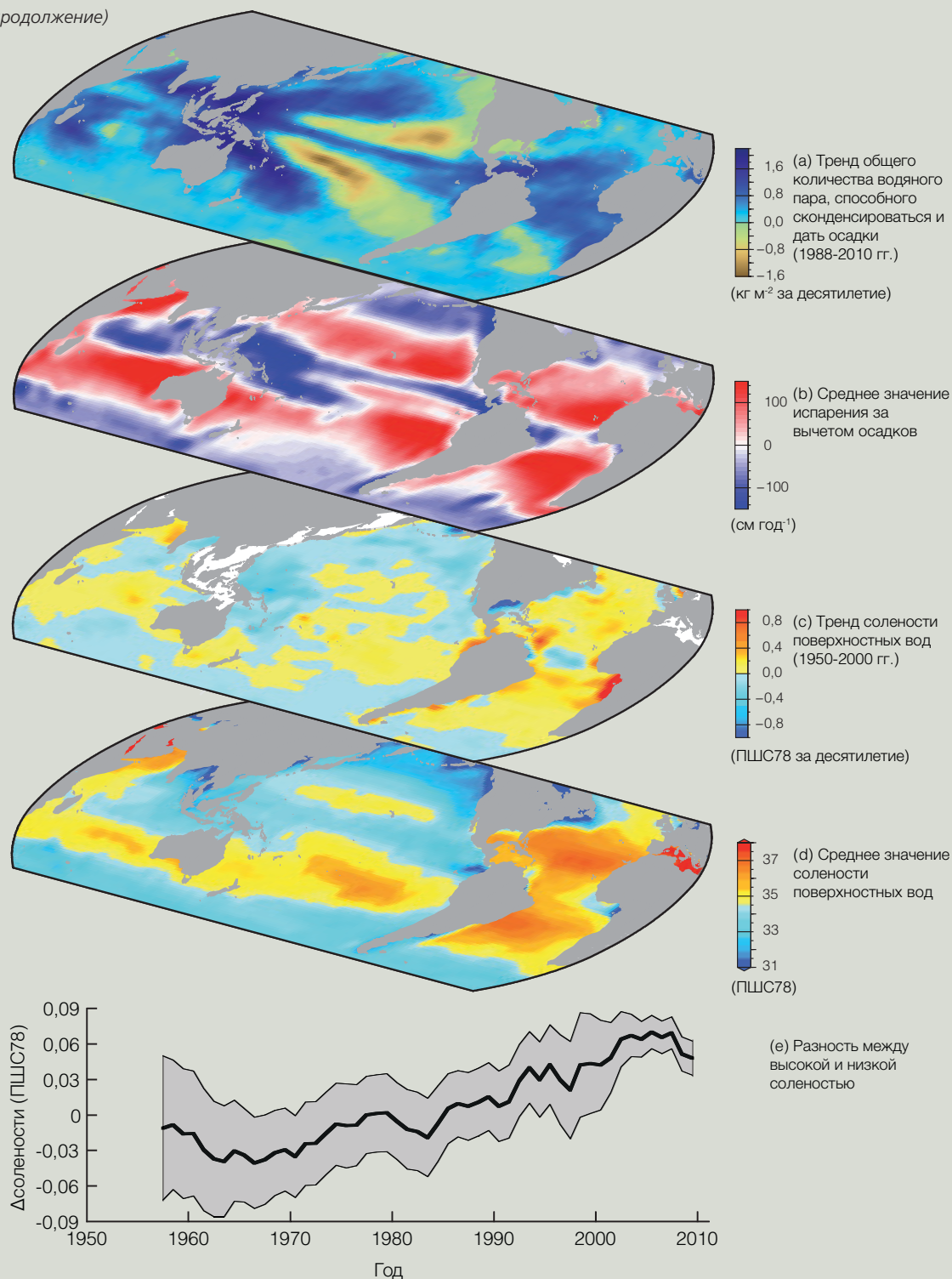
Изменения осадков сложнее измерить с помощью существующих рядов данных как в связи с повышенной сложностью отбора проб осадков, так и в связи с тем, что, как ожидается, по мере потепления климата осадки будут характеризоваться меньшим относительным изменением по сравнению с содержанием водяного пара в воздухе. Некоторые региональные тренды осадков являются явными (ТБ.1, рисунок 2), но когда охвачена практически вся поверхность суши с использованием метода реконструкции, полученные итоговые временные ряды данных о среднем глобальном количестве осадков над сушей показывают незначительные изменения с 1900 г. В настоящее время существует *средняя степень достоверности* того, что имело место значительное антропогенное воздействие на изменение режимов выпадения осадков в глобальном масштабе, включая увеличение их количества в средних - высоких широтах Северного полушария (СП). Изменения экстремальных осадков и других экстремальных климатических явлений, связанных с водным циклом, всесторонне рассмотрены в ФЭТ.9. {2.5.1, 10.3.2}

Несмотря на то, что прямые тренды осадков и испарения сложно определить с помощью имеющихся данных, наблюдаемая соленость поверхностных вод океана, которая значительно зависит от разности испарения и осадков, характеризуется значительными трендами (ФЭТ.1, рисунок 1). Пространственные режимы трендов солености с 1950 года очень похожи на распределение средних значений солености и средних значений распределения испарения за вычетом осадков: в регионах с высокой соленостью воды, где преобладает испарение, вода стала более соленой, а в регионах с низкой соленостью воды, где доминируют осадки, вода стала более пресной (ФЭТ.1, рисунок 1). Это является косвенным свидетельством того, что режим испарения над океанами за вычетом осадков стал более интенсивным с 1950-х годов (*средняя степень достоверности*). Предполагаемые изменения испарения за вычетом осадков согласуются с наблюдаемым увеличением содержания водяного пара в более теплом воздухе. *Весьма вероятно*, что наблюдаемые изменения солености поверхностных и подповерхностных вод частично происходят в результате антропогенных воздействий на климат. {2.5, 3.3.2-3.3.4, 3.4, 3.9, 10.4.2; ЧЗВ 3.2}

В большинстве проанализированных регионов количество снегопадов, *вероятно*, уменьшается там, где наблюдается повышение зимних температур. Наблюдения как со спутников, так и *in situ* показывают значительные сокращения площади снежного покрова в СП за последние 90 лет, при этом наибольшее сокращение произошло в 1980-х годах. Площадь снежного покрова больше всего уменьшилась в июне, когда его средняя площадь уменьшилась, *весьма вероятно*, на 53% (40 - 66%) за период с 1967 по 2012 гг. С 1922 по 2012 гг. данные имеются только с марта по апрель и показывают, *весьма вероятно*, сокращение на 7% (4,5 - 9,5%). В связи с ранним весенним таянием снега продолжительность сохранения снежного сезона в СП уменьшилась на 5,3 дня за десятилетие с зимы 1972/1973 гг. В этих наблюдаемых с 1970-х годов сокращениях снежного покрова присутствует, вероятно, антропогенный компонент. {4.5.2, 10.5.1, 10.5.3}

(продолжение на следующей странице)

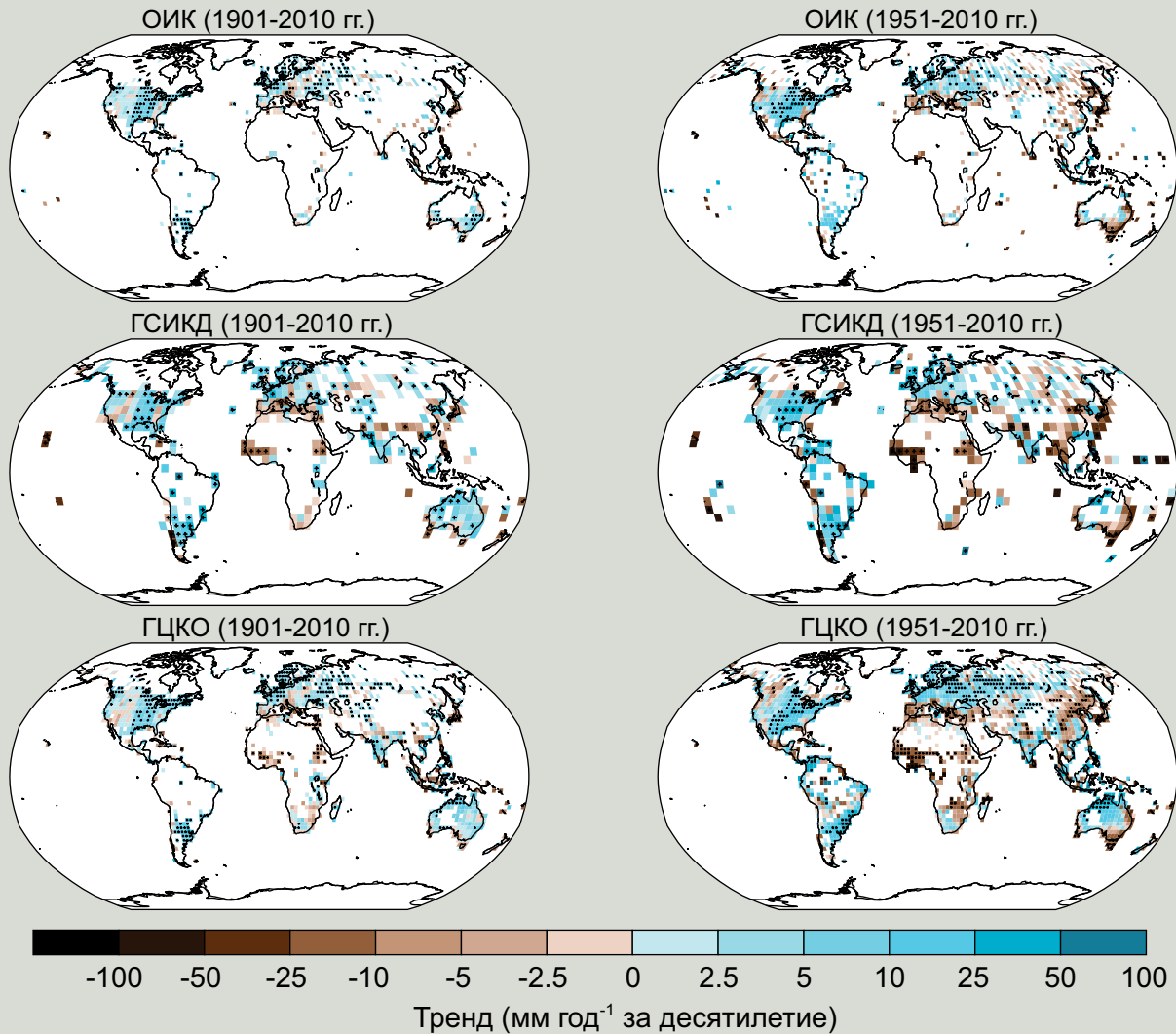
ФЭТ.1 (продолжение)



ФЭТ.1, рисунок 1 | Изменения солёности поверхности моря связаны с атмосферными режимами испарения за вычетом осадков ($E - P$) и трендами общего количества водяного пара, способного сконденсироваться и дать осадки: (а) линейный тренд (1988 - 2010 гг.) общего количества водяного пара, способного сконденсироваться и дать осадки (суммарное количество водяного пара, поднявшегося с поверхности Земли через всю атмосферу) (кг м² за десятилетие), по данным спутниковых наблюдений. (б) Климатологическая средняя разность испарения и осадков в 1979-2005 гг. (см год⁻¹) по данным метеорологического реанализа. (в) Тренд солёности поверхностных вод (1950-2000 гг.) (Практическая шкала солёности 78 (ПШС78) за 50 лет). (г) Климатологическое среднее значение солёности поверхностных вод (ПШС78) (области, выделенные синим цветом, <35; области, выделенные желтым-красным цветом, >35). (е) Глобальное различие между солёностью, осредненной по регионам, в которых солёность поверхности моря выше, чем глобальное среднее значение солёности поверхности моря («высокая солёность»), и солёностью, осредненной по регионам, в которых эти значения ниже глобального среднего значения («низкая солёность»). Подробную информацию об источниках данных см. на рисунке 3.21 и рисунке 1 ЧЗВ 3.2. {3.9}

ТР

ФЭТ.1 (продолжение)



ФЭТ.1, рисунок 2 | Карты наблюдаемого изменения распределения осадков над сушей с 1901 по 2010 гг. (рисунки слева) и с 1951 по 2010 гг. (рисунки справа) согласно наборам данных Отдела исследований климата (ОИК), Глобальной сети исторических климатологических данных (ГСИКД) и Глобального центра климатологии осадков (ГЦКО). Тренды ежегодного аккумулярования были рассчитаны только для ячеек сетки с наличием более 70% от полного объема данных и более 20% имеющихся данных за первый и последний дециль периода наблюдений. Белым цветом показаны неполные или отсутствующие данные. Знаки «плюс» черного цвета (+) показывают ячейки сетки, где тренды являются значимыми (т. е., нулевой тренд лежит за пределами доверительного интервала 90%). Более подробная информация, относящаяся к соответствующему рисунку РП.2, приведена в Дополнительном материале ТР. {Рисунок 2.29; 2.5.1}

Самые последние и самые всеобъемлющие анализы речного стока не поддерживает вывод Четвертого доклада об оценке МГЭИК (Д04) относительно того, что глобальный сток увеличился в XX веке. Новые результаты также показывают, что выводы Д04 в отношении глобального усиления трендов засух с 1970-х годов не являются более обоснованными. {2.5.2, 2.6.2}

Проекция будущих изменений

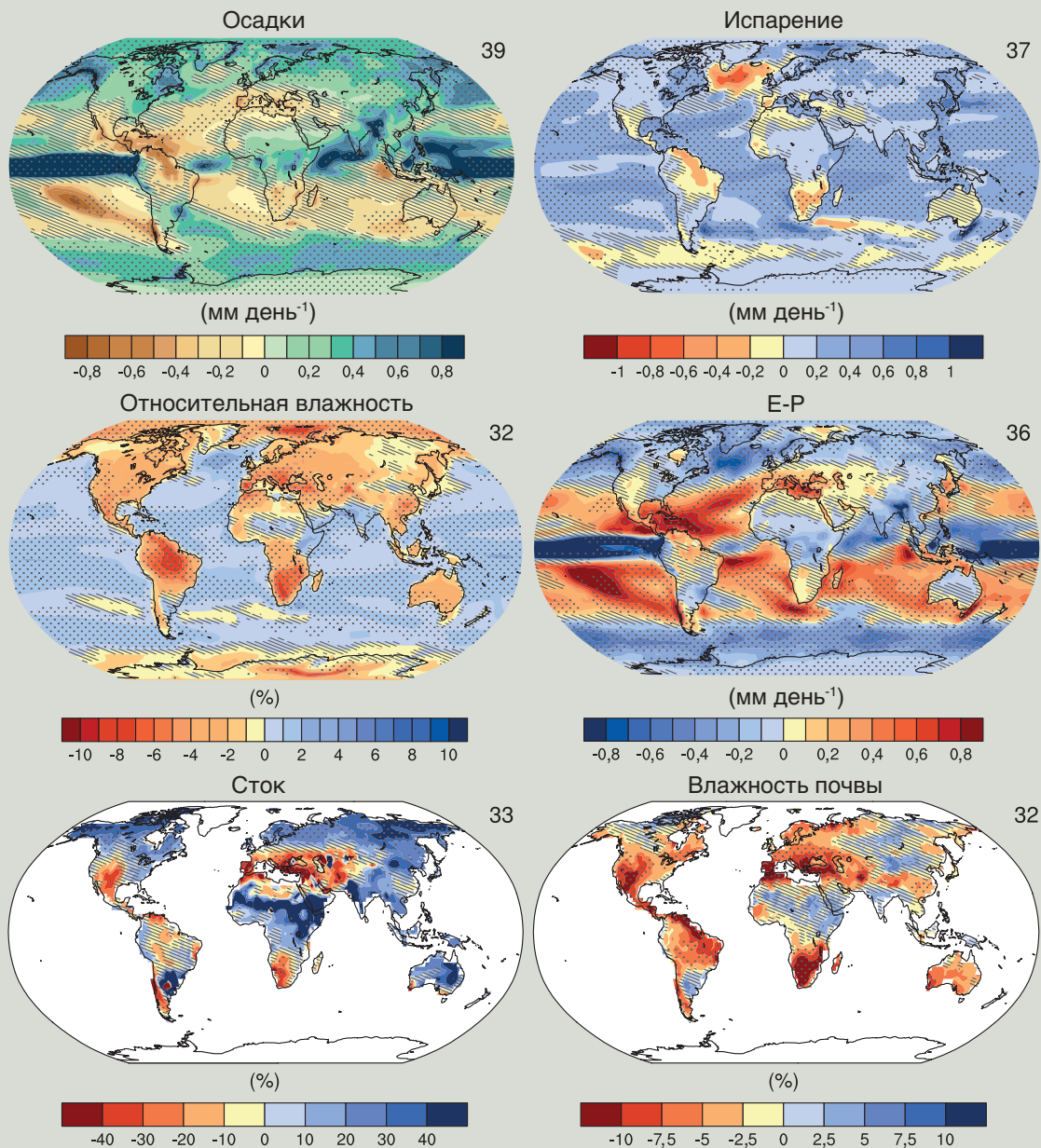
Согласно проекциям в теплеющем климате произойдут изменения водного цикла (ФЭТ.1, рисунок 3, см. также ТР 4.6, ТР 5.6, приложение I). Проекция осадков в глобальном масштабе говорит о постепенном их увеличении в XXI веке. Согласно проекциям увеличение объема осадков будет гораздо меньше (около 2% K⁻¹) темпов увеличения содержания водяного пара в нижних слоях тропосферы (около 7% K⁻¹) вследствие глобальных энергетических ограничений. Изменения среднего количества осадков в гораздо более теплом мире не будут единообразными и ожидается, что в некоторых регионах будет происходить увеличение, а в других уменьшение осадков, или же не будет значительных изменений вообще. Земельные массивы, расположенные в высоких широтах, вероятно, получат большие объемы осадков в связи с дополнительным водоносным потенциалом более теплой тропосферы. Многие субтропические засушливые и полусухие регионы, расположенные в средних широтах, вероятно, получат меньшее количество осадков. Самые значительные изменения осадков согласно проекциям ожидаются в зимний период над северной частью Евразии и Северной Америкой. {12.4.5, приложение I}

(продолжение на следующей странице)

ФЭТ.1 (продолжение)

Проекции влажности почвы и засух в масштабе от регионального до глобального остаются относительно неопределенными по сравнению с другими аспектами водного цикла. Тем не менее, засушливые условия в средиземноморском регионе, юго-западной части США и южных районах Африки согласуются с прогнозируемыми изменениями циркуляции Хэдли, и, таким образом, более сухая погода в данных регионах совпадет, *вероятно*, с потеплением на несколько градусов согласно сценарию репрезентативных траекторий концентраций РТК8.5. Уменьшение стока *вероятно* в южной части Европы и на Ближнем Востоке. Увеличение стока *вероятно* в северных высоких широтах и согласуется с проекциями увеличения там осадков. {12.4.5}

Среднегодовое изменение гидрологического цикла (РТК8.5: 2081-2100 гг.)



ФЭТ.1, рисунок 3 | Среднегодовые изменения осадков (P), испарения (E), относительной влажности, E-P, стока, и влажности почвы за период 2081-2100 гг. по отношению к периоду 1986-2005 гг. согласно сценарию репрезентативных траекторий концентраций РТК8.5 (см. вставку TP.6). Количество моделей этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP5) для расчета мультимодельного среднего значения указано в верхнем правом углу каждого рисунка. Штриховкой показаны регионы, в которых изменение мультимодельного среднего значения меньше одного стандартного отклонения внутренней изменчивости. Пунктиром обозначены регионы, в которых изменение мультимодельного среднего значения больше, чем два стандартных отклонения внутренней изменчивости и где 90% моделей согласуются по знаку изменения (см. вставку 12.1). {Рисунки 12.25-12.27}

TP

высокая степень достоверности того, что они происходят в результате ускорения выводных ледников. Средние темпы потери льда в Антарктике, *вероятно*, повысились с 30 [-37 - 97] Гт год⁻¹ (эквивалент уровня моря 0,08 [-0,10 - 0,27] мм год⁻¹) за период 1992-2001 гг. до 147 [72 - 221] Гт год⁻¹ за период 2002-2011 гг. (0,40 [0,20 - 0,61] мм год⁻¹). {4.4.2, 4.4.3}

Существует *высокая степень достоверности* того, что в районах Антарктики плавучие шельфовые ледники претерпевают существенные изменения. Существует *средняя степень достоверности* того, что шельф истончается в районе моря Амундсена западной Антарктики, и *низкая степень достоверности* того, что это происходит благодаря высокой интенсивности потока тепла океана. Существует *высокая степень достоверности* того, что шельфовый лед вокруг Антарктического полуострова продолжает долгосрочный тренд отступления и частичного обрушения, начавшийся десятилетия тому назад. {4.4.2, 4.4.5}

ТР.2.5.5 Снежный покров, пресноводный лед и мерзлый грунт

Существует *весьма высокая степень достоверности* того, что площадь снежного покрова уменьшилась на СП, особенно в весенний период (рисунок ТР.1). Данные спутниковых наблюдений показывают, что за период 1967-2012 гг., площадь снежного покрова, *весьма вероятно*, уменьшилась; самое значительное изменение, а именно минус 53% [от -40 до -66%], наблюдалось в июне. Ни в одном месяце не происходило статистически значимого увеличения. За более долгий период 1922-2012 гг. данные доступны только за март и апрель, но они показывают, *весьма вероятно*, 7% [4,5 - 9,5%] уменьшение и отрицательную корреляцию (-0,76) с марта по апрель с температурой поверхности суши в районе от 40°с.ш. до 60°с.ш. В Южном полушарии (ЮП) данные наблюдений слишком ограничены, чтобы сделать вывод о том, произошли ли изменения. {4.5.2, 4.5.3}

Температуры многолетней мерзлоты повысились в большинстве регионов мира с начала 1980-х годов (*высокая степень достоверности*). Это повышение было реакцией на повышенную температуру воздуха и на изменения сроков и толщины снежного покрова (*высокая степень достоверности*). Повышение температуры для более холодной многолетней мерзлоты было в целом выше, чем для более теплой многолетней мерзлоты (*высокая степень достоверности*). {4.7.2; таблица 4.8}

ТР.2.6 Изменения уровня моря

Изменение объема воды в океане связано главным образом с расширением океанской воды по мере ее потепления, а также переносом в океан воды, находящейся сейчас на суше, в частности, из ледников и ледяных щитов. Аккумуляция воды в резервуарах и истощение грунтовых вод (и их последующий сток в океан) также влияют на уровень моря. Изменение уровня моря относительно суши (относительный уровень моря) может значительно отличаться от изменения среднего глобального уровня моря (СГУМ) вследствие изменений в распределении воды в океане, вертикального движения суши и изменения гравитационного поля Земли. Для обзора научного понимания и неопределенностей, связанных с недавним (и прогнозируемым) изменением уровня моря, см. ФЭТ.2. {3.7.3, 13.1}

В течение теплых интервалов среднего плейстоцена (3,3 - 3,0 млн. лет тому назад), в отношении которых существует *средняя степень достоверности* того, что СГПТ была на 1,9°C - 3,6°C выше, чем в доиндустриальном климате, уровни диоксида углерода (CO₂) лежали в пределах 350 - 450 ppm, и существует *высокая степень достоверности* того, что СГУМ была выше существующего, что косвенно указывает на сокращение объема полярных ледяных щитов. Наилучшие оценки, полученные с использованием различных методов, предполагают с *высокой степенью достоверности*, что уровень моря не превышал +20 м в самые теплые периоды плейстоцена вследствие таяния ледников ледяных щитов Гренландии и Западной Антарктики, а также частей ледяного щита Восточной Антарктики. {5.6.1, 13.2}

Существует *весьма высокая степень достоверности* того, что максимальный СГУМ в последний межледниковый период (129 - 116 тыс. лет тому назад) был на протяжении нескольких тысяч лет по меньшей мере на 5 м выше сегодняшнего уровня, и с *высокой степенью достоверности* он не превышал нынешний уровень более чем на 10 м, при этом предполагается значительное участие в этом процессе Гренландского и Антарктического ледяных щитов. Это изменение уровня моря произошло в условиях различных орбитальных воздействий и повышения приземной температуры в высоких широтах, осредненной за несколько тысяч лет, по меньшей мере на 2°C по сравнению с ее сегодняшним значением (*высокая степень достоверности*). Исходя из результатов имитационного моделирования ледяного щита, совпадающих с данными об изменениях повышения уровня моря, полученных на основе нового ядра гренландского льда, Гренландский ледяной щит, *весьма вероятно*, способствовал повышению уровня моря на 1,4 - 4,3 м (в эквиваленте уровня моря), при этом со *средней степенью достоверности* предполагается вклад в повышение СГУМ Антарктического ледяного щита в Межледниковый период. {5.3.4, 5.6.2, 13.2.1}

Косвенные данные и данные инструментальных измерений уровня моря свидетельствуют о переходе в конце XIX - начале XX века от относительно низких средних темпов повышения, наблюдавшихся в последние два тысячелетия, к более высоким темпам (*высокая степень достоверности*) {3.7, 3.7.4, 5.6.3, 13.2}

Повышение СГУМ, оцененное по линейному тренду за период 1901-2010 гг. по данным мареографов и дополнительным спутниковым данным с 1993 г., составило 0,19 [0,17 - 0,21] м. *Весьма вероятно*, что средние темпы повышения уровня моря составляли 1,7 [1,5 - 1,9] мм год⁻¹ между 1901 и 2010 гг. Между 1993 и 2010 гг. темпы были, *весьма вероятно*, выше и составляли 3,2 [2,8 - 3,6] мм год⁻¹; подобные высокие темпы, *вероятно*, наблюдались в период между 1920 и 1950 гг. Темпы подъема СГУМ увеличились, *вероятно*, с начала 1900-х годов, при этом их оценочные значения лежат в пределах от 0,000 [-0,002 - 0,002] до 0,013 [-0,007 - 0,019] мм год⁻². {3.7, 5.6.3, 13.2}

ТР.2.7 Изменения экстремальных явлений

ТР.2.7.1 Атмосфера

Недавно проведенные анализы экстремальных явлений в общем поддерживают выводы Д04 и СДЭБ (см. ФЭТ.9 и, в частности, таблицу 1 ТБ.9, для обобщения). *Весьма вероятно*, что число холодных дней и ночей снизилось, а количество теплых дней и ночей увеличилось в глобальном масштабе между 1951 и 2010 гг. В глобальном масштабе существует *средняя степень достоверности* того, что длительность и частота теплых периодов, включая волны тепла, увеличились с середины XX века, большей частью вследствие недостатка данных или научных исследований в Африке и Южной Америке. Однако, *вероятно*, частота волн тепла увеличилась в этот период в значительных областях Европы, Азии и Австралии. {2.6.1; таблицы 2.12, 2.13}

Вероятно, что примерно с 1950 г. количество случаев выпадения сильных осадков над сушей в большинстве регионов скорее увеличилось, чем уменьшилось. Наибольшая степень достоверности относится к Северной Америке и Европе, где, *вероятно*, были увеличения либо частоты, либо интенсивности сильных осадков с определенными сезонными и региональными колебаниями. *Весьма вероятно*, что тренды более сильных осадков наблюдались в центральной части Северной Америки. {2.6.2; Таблица 2.13}

Существует *низкая степень достоверности* наблюдаемого в глобальном масштабе тренда засух или сухой погоды (недостаток осадков) в связи с отсутствием прямых наблюдений, зависимости предполагаемых трендов от выбора индекса и географических несоответствий трендов. Однако за этим кроются важные региональные изменения и, например, повторяемость и интенсивность засух, *вероятно*, увеличились в Средиземноморье и Западной Африке, и, *вероятно*, уменьшились в центральной части Северной Америки и в северо-западной части Австралии с 1950 г. {2.6.2; таблица 2.13}

Фокусные элементы темы

ФЭТ.2 | Изменение уровня моря: Научное понимание и неопределенности

После последнего ледникового максимума средние глобальные уровни моря (СГУМ) приблизились к современным значениям несколько тысяч лет тому назад. С тех пор *практически определено*, что темпы повышения уровня моря увеличились с низких темпов изменения уровня моря в течение позднего голоцена (порядка десятых долей мм год⁻¹) до темпов XX века (порядка мм год⁻¹, рисунок TP1). {3.7, 5.6, 13.2}

Тепловое расширение океана и потеря массы ледников являются основными факторами повышения СГУМ в XX веке (*высокая степень достоверности*). Весьма вероятно, что потепление океана внесло вклад в изменение уровня моря на 0,8 [0,5 - 1,1] мм год⁻¹ в период 1971-2010 гг, при этом основной вклад внес верхний слой глубиной 700 м. Средние темпы теплового расширения океана с 1971-2010 гг., полученные на основе моделей, близки к данным наблюдений. {3.7, 13.3}

Данные наблюдений, скомбинированные с усовершенствованными методами анализа, указывают на то, что вклад глобальных ледников (за исключением периферийных ледников вокруг Гренландии и Антарктики) в повышение уровня моря составлял 0,25 - 0,99 мм год⁻¹ в эквиваленте уровня моря в 1971-2010 гг. *Средняя степень достоверности* данных моделей глобального баланса ледниковой массы, используемых для проекций изменений ледников, выводится из основанного на знании процесса понимания баланса поверхностной массы ледников, согласованных данных наблюдений и моделей изменений ледников, а также доказательствах того, что результаты имитации климата при помощи модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) могут давать реалистичную исходную климатическую информацию. Имитационное моделирование с использованием данных климатических наблюдений показывают более высокие темпы потери ледниковой массы в 1930-е годы, чем подобное моделирование с использованием исходных данных МОЦАО, возможно в результате эпизода потепления в Гренландии, связанного с естественной региональной изменчивостью климата. {4.3, 13.3}

Наблюдения показывают, что чистая потеря массы Гренландского ледяного щита, *весьма вероятно*, произошла в результате как усиления поверхностного таяния и стока, так и увеличения стока льда за последние двадцать лет (рисунок TP.3). Модели регионального климата показывают, что баланс поверхностной массы Гренландского ледяного щита не характеризовался сколь-либо существенным трендом с 1960-х по 1980-е годы, а таяние и последующий сток увеличились с начала 1990-х годов. Эта тенденция связана с явным региональным потеплением, что можно объяснить сочетанием аномальной региональной изменчивости в последние годы и антропогенного изменения климата. *Высокая степень достоверности* проекций будущего потепления в Гренландии и повышенного поверхностного таяния основана на качественных согласованиях моделей при подготовке проекций усиленного потепления в высоких северных широтах по хорошо понятным физическим причинам. {4.4, 13.3}

Существует *высокая степень достоверности* того, что Антарктический ледяной щит находится в состоянии чистой потери массы и его вклад в повышение уровня моря также, *вероятно*, повысился за последние двадцать лет. Ускорение стока льда наблюдалось с 1990-х годов, особенно в секторе моря Амундсена Западной Антарктики. Межгодовая изменчивость аккумуляции значительна и в результате этого с 1979 г. ни модели, ни данные наблюдений не показывают сколь-либо значительного тренда аккумуляции. Поверхностное таяние в Антарктике в настоящее время пренебрежимо мало. {4.4, 13.3}

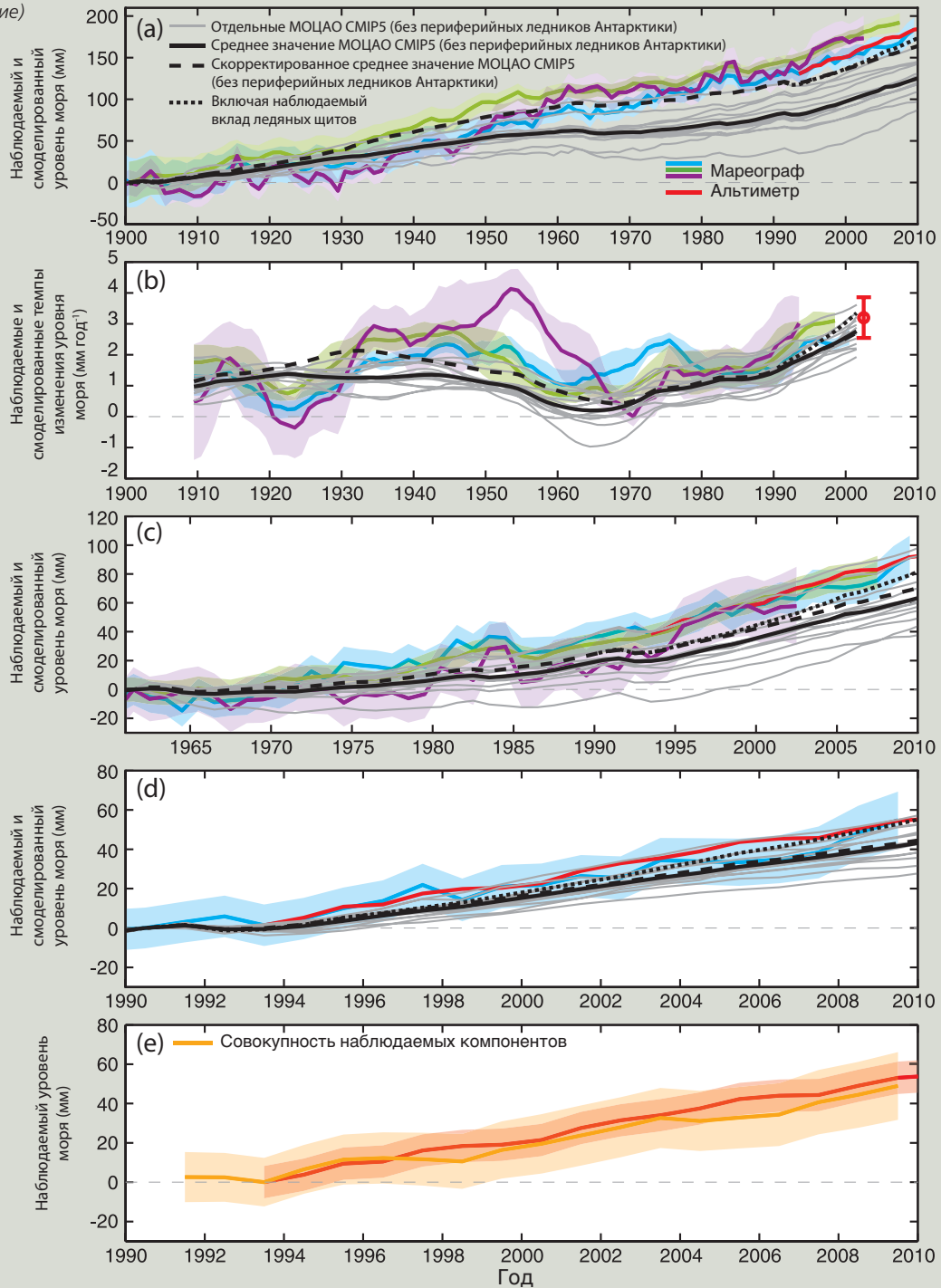
Оценки связанных с климатом изменений водных ресурсов на суше, основанные на результатах модельных расчетов (в виде снежного покрова, поверхностных вод, влаги в почве и подземных вод) не показывают значительного долгосрочного вклада в изменение уровня моря в последние десятилетия. Однако, изменения, вызванные деятельностью человека (наполнение резервуаров и истощение подземных вод), внесли вклад в изменение уровня моря как минимум в несколько десятых долей мм год⁻¹. Наполнение резервуаров превышало истощение подземных вод в течение большей части XX века, но темпы истощения подземных вод увеличились и сейчас превышают темпы наполнения. Их совокупный чистый вклад в XX веке считается небольшим. {13.3}

Наблюдаемое повышение СГУМ в период 1993-2010 гг. согласуется с общим вкладом, оцененным по данным наблюдений (ФЭТ.2, рисунок 1е). Подведение итогов суммарных наблюдений за последние периоды с учетом неопределенностей их совокупных данных является значительным шагом вперед после Четвертого доклада об оценке МГЭИК в плане физического понимания причин изменений СГУМ в прошлом и создает лучшую основу для критической оценки моделей этих вкладов с целью определения их надежности для подготовки проекций. {13.3}

Совокупный вклад смоделированного теплового расширения океана и ледников и оценочное изменение запасов воды на суше (которое относительно мало) почти на 65% является причиной наблюдаемого повышения СГУМ в период 1901-1990 гг. и на 90% в периоды 1971-2010 гг. и 1993-2010 гг. (ФЭТ.2, рисунок 1). Если учитывать небольшие долгосрочные вклады ледяных щитов и возможную более значительную потерю массы ледников в 1930-е годы вследствие естественной изменчивости климата, то суммарный смоделированный вклад близок к наблюдаемому повышению. Добавление наблюдаемого вклада ледяных щитов с 1993 г. еще больше улучшает согласованность между наблюдаемым и смоделированным повышением уровня моря (ФЭТ.2, рисунок 1). Имеющиеся в настоящее время доказательства дают более четкий ответ, чем подготовленные МГЭИК предыдущие оценки изменения уровня моря в XX веке. {13.3}

(продолжение на следующей странице)

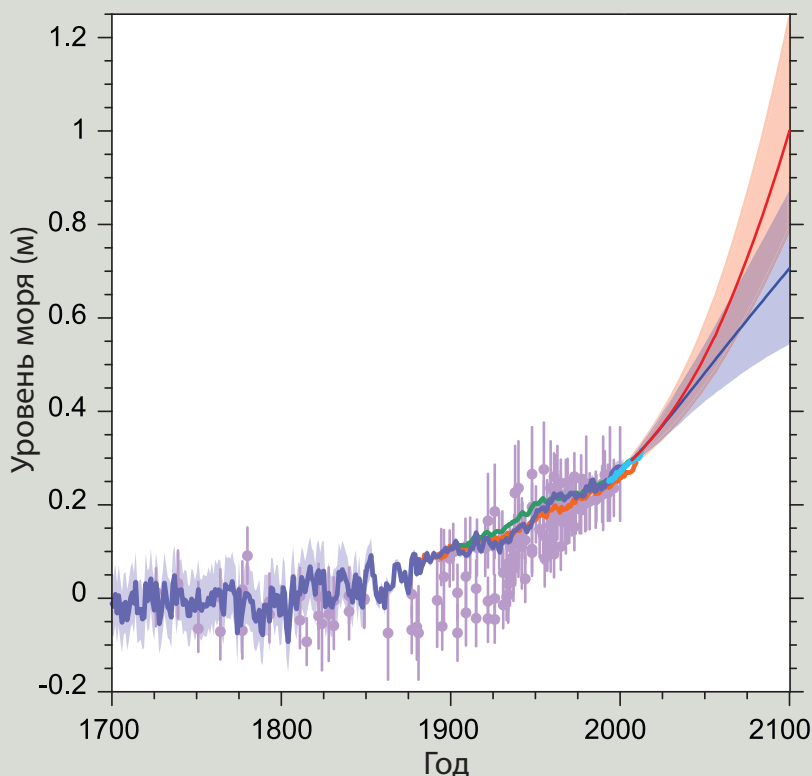
ФЭТ.2 (продолжение)



ФЭТ.2, рисунок 1 | (а) Наблюдаемый и смоделированный уровень моря в 1900 - 2010 гг. (б) Темпы изменения уровня моря в тот же период; данные спутниковой альтиметрии для скорости показаны красной точкой. (с) Наблюдаемый и смоделированный уровень моря в 1961 - 2010 гг. (д) Наблюдаемый и смоделированный уровень моря в 1990 - 2010 гг. На рисунке (е) сравниваются совокупный наблюдаемый вклад (оранжевый цвет) и наблюдаемый уровень моря согласно данным спутниковой альтиметрии (красный цвет). Приводятся оценки СГУМ из разных источников, при этом затенением показывают оценки неопределенности (два стандартных отклонения). Данные спутниковой альтиметрии с 1993 г. показаны красным цветом. Серые линии на рисунках (а)-(д) показывают совокупный вклад смоделированного теплового расширения океана и ледников (за исключением периферических ледников Антарктического ледяного щита), плюс изменения запасов воды на суше (см. рисунок 13.4). Черная линия показывает среднее значение серых линий плюс коррекция теплового расширения вследствие неучета вулканического воздействия в контрольных экспериментах Модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) (см. раздел 13.3.1). Прерывистая черная линия (скорректированные средние модельные значения) показывает сумму исправленных средних модельных значений теплового расширения, изменение запасов воды на суше, оценку ледников с использованием данных наблюдений за климатом (а не моделирования климата) (см. рисунок 13.4), и показательный долгосрочный вклад ледяных щитов (0, 1 мм год⁻¹). Точечная черная линия обозначает скорректированное среднее модельное значение, но на этот раз с учетом наблюдаемого вклада ледяных щитов, который начался в 1993 г. Поскольку оценки данных наблюдений за ледяными щитами включают ледники по периферии Гренландского и Антарктического ледяных щитов (из раздела 4.4), вклад ледников в скорректированное среднее модельное значение исключает периферические ледники (ПЛ) во избежание двойного учета. {13.3; рисунок 13.7}

ФЭТ.2 (продолжение)

При надлежащей калибровке недавно усовершенствованные динамические модели ледяных щитов могут воспроизводить наблюдаемые быстрые изменения стока ледяного щита для отдельных ледниковых систем (напр., ледник Пайн Айленд в Антарктике; *средняя степень достоверности*). Однако модели реакции ледяных щитов на глобальное потепление и, в частности, взаимодействий ледяной щит-океан являются неполными, и исключение моделей ледяных щитов, особенно динамических, из совокупности моделей прошлого означает, что они не были также критически оценены в качестве других вносящих вклад факторов. {13.3, 13.4}



ФЭТ.2, рисунок 2 | Компильция палеоклиматических данных об уровне моря (фиолетовый цвет), данных мареографов (синий, красный и зеленый цвета), данных альтиметрии (голубой цвет), основных оценок и *вероятных* диапазонов проекций повышения глобального среднего уровня моря на основе комбинации CMIP5 и описывающих процессы моделей для сценариев РТК2.6 (синий цвет) и РТК8.5 (красный цвет), при этом все они относятся к доиндустриальным значениям. {Рисунки 13.3, 13.11, 13.27}

Повышение СГУМ в 2081-2100 гг. (по сравнению с периодом 1986-2005 гг.) для репрезентативных траекторий концентраций (РТК) будет находиться, *вероятно*, в диапазоне 5 - 95%, выведенном из проекций климата этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP5) в сочетании с описывающими процессы моделями других вносящих вклад факторов (*средняя степень достоверности*), а именно: 0,26 - 0,55 м (РТК2.6); 0,32 - 0,63 м (РТК5); 0,33 - 0,63 м (РТК6.0); 0,45 - 0,82 м (РТК8.5) (см. таблицу ТР.1 и рисунок ТР.15 относительно воздействия РТК). Для РТК8.5 диапазон в 2100 г. составляет 0,52 - 0,98 м. Степень достоверности проекции *вероятных* диапазонов определяется согласованностью описывающих процессы моделей с данными наблюдений и физическим пониманием. Считается, что в настоящее время недостаточно доказательств для оценки вероятности конкретных уровней, превышающих *вероятный* диапазон. Исходя из современного понимания, только обрушение морских секторов Антарктического ледяного щита, если оно начнется, могло бы стать в XXI веке причиной повышения СГУМ, существенного превосходящего *вероятный* диапазон. Отсутствует консенсус относительно вероятности такого обрушения и потенциальный дополнительный вклад в повышение СГУМ не может быть точно количественно определен, но существует *средняя степень достоверности* того, что оно не превысит нескольких десятых частей метра в течение XXI века. *Практически определено*, что повышение СГУМ продолжится после 2100 г. {13.5.1, 13.5.3}

Многие проекции повышения СГУМ, основанные на полуэмпирических моделях, дают больший рост, чем проекции по моделям, описывающим процессы, но в научном сообществе нет консенсуса в отношении их надежности, и поэтому эти проекции характеризуются *низкой степенью достоверности*. {13.5.2, 13.5.3}

ФЭТ.2, на рисунке 2 скомбинированы палеоклиматические данные, данные мареографов и альтиметрических наблюдений о повышении уровня моря с 1700 г. и проекции изменения СГУМ до 2100 г. {13.5, 13.7, 13.8}

Существует *высокая степень достоверности* того, что засухи, наблюдавшиеся в ходе последнего тысячелетия, были сильнее и продолжительнее, чем наблюдаемые с начала XX века во многих регионах. Существует *средняя степень достоверности* того, что по сравнению со средневековой климатической аномалией (950-1250 гг.) во время малого ледникового периода (1450-1850 гг.) было больше мегазасух в регионе муссонов в Азии и более влажные условия преобладали в засушливых регионах Центральной Азии и в регионе муссонов в Южной Америке. {5.5.4, 5.5.5}

Степень достоверности долгосрочных (столетних) изменений активности тропических циклонов остается *низкой* с учетом прошлых изменений возможностей для проведения наблюдений. Однако, в период после 1970-х годов частота и интенсивность штормов в Северной Атлантике *практически определено* увеличились, хотя причины этого увеличения остаются предметом обсуждения (см. ФЭТ.9). Существует *низкая степень достоверности* крупномасштабных трендов состояния климата в последнее столетие и все еще недостаточно доказательств для определения того, существуют ли устойчивые тренды мелкомасштабных явлений суровой погоды, таких как град или грозы. {2.6.2-2.6.4}

Наводнения значительнее тех, которые наблюдались с XX века, с *высокой степенью достоверности* произошли за последние пять веков в северной и центральной частях Европы, западной части Средиземноморского региона и в восточной части Азии. Существует *средняя степень достоверности* того, что на Ближнем Востоке, в Индии и в центральной части Северной Америки, современные крупные наводнения сравнимы с историческими наводнениями с точки зрения силы и/или частоты или превосходят их. {5.5.5}

ТР.2.7.2 Океаны

Мощность экстремальных явлений, связанных с повышением уровня моря, *вероятно* увеличилась с 1970 г. (см. ФЭТ.9, таблица 1). Большинство случаев экстремального повышения уровня моря можно объяснить повышением среднего уровня моря: изменения экстремального повышения уровня моря сократились до менее 5 мм год⁻¹ по данным 94% измерений мареографов, в которых повышение среднего уровня моря было учтено. На основе модельных долгопериодных диагностических расчетов, использующих реанализы в качестве граничных условий, и данных судовых наблюдений со *средней степенью достоверности* можно говорить о возрастании значимых высот волн с 1950-х годов на значительной части Северной Атлантики к северу от 45°с.ш., при этом типичными трендами в зимний сезон было повышение до 20 см за десятилетие. {3.4.5, 3.7.5}

ТР.2.8 Изменение углеродного и других биогеохимических циклов

Концентрации атмосферных парниковых газов (ПГ), а именно диоксида углерода (CO₂), метана (CH₄) и закиси азота (N₂O) в 2011 г. превысили диапазон концентраций, зарегистрированных в ледовых ядрах за последние 800 тыс. лет. Прошлые изменения атмосферных концентраций ПГ определены с *весьма высокой степенью достоверности* по ядрам полярного льда. После ДО4 временной период этих зарегистрированных данных был увеличен с 650 тыс. до 800 тыс. лет тому назад. {5.2.2}

С *весьма высокой степенью достоверности* можно сказать, что современные темпы увеличения атмосферных концентраций CO₂, CH₄ и N₂O и соответствующих повышений РВ являются беспрецедентными в отношении «наивысшего разрешения» данных ледовых кернов за последние 22 тыс. лет. Существует *средняя степень достоверности* того, что темпы

изменения наблюдаемого повышения концентраций ПГ также являются беспрецедентными по сравнению с данными более низкого разрешения за последние 800 тыс. лет. {2.2.1, 5.2.2}

Для нескольких периодов, характеризуемых высокими атмосферными концентрациями CO₂, существует *средняя степень достоверности* того, что средняя глобальная температура значительно превышала доиндустриальный уровень. Во время среднего плиоцена (3,3 - 3,0 млн. лет тому назад) атмосферная концентрация CO₂ составляла 350 - 450 ppm (*средняя степень достоверности*), при этом СГТП была на 1,9-3,6°C выше соответствующей температуры (*средняя степень достоверности*) в период доиндустриального климата. В ранний эоцен (52 - 48 млн. лет тому назад) атмосферная концентрация CO₂ превышала 1000 ppm, при этом СГТП была на 9°-14°C выше (*средняя степень достоверности*) температуры доиндустриального периода. {5.3.1}

ТР.2.8.1 Диоксид углерода

Между 1750 и 2011 гг. выбросы CO₂ в результате сжигания ископаемого топлива и производства цемента оцениваются на основе статистики использования энергии и топлива и составляли 375 [345 - 405] ПгС⁹. В период 2002-2011 гг. средние выбросы в результате сжигания ископаемого топлива и производства цемента составляли 8,3 [7,6 - 9,0] ПгС год⁻¹ (*высокая степень достоверности*), при этом средние темпы роста выбросов составляли 3,2% год⁻¹ (рисунок ТР.4). Эти темпы роста выбросов в результате сжигания ископаемого топлива выше, чем в 1990-е годы (1,0% год⁻¹). В 2011 г. выбросы в результате сжигания ископаемого топлива и составляли 9,5 [8,7 - 10,3] ПгС. {2.2.1, 6.3.1; таблица 6.1}

Между 1750 и 2011 гг., в результате изменений в землепользовании (главным образом обезлесение) по оценкам, полученным на основе данных о почвенно-растительном покрове и моделирования, было выброшено 180 [100 - 260] ПгС. Выбросы в результате изменений в землепользовании между 2002 и 2011 гг. происходили главным образом из-за обезлесения тропических регионов и оцениваются на уровне 0,9 [0,1 - 1,7] ПгС год⁻¹ (*средняя степень достоверности*), с возможным небольшим снижением с 1990-х годов благодаря заявленным более низким потерям лесов за это десятилетие. Эта оценка включает общие выбросы от обезлесения, составляющие примерно 3 ПгС год⁻¹ компенсируемые примерно на 2 ПгС год⁻¹ за счет лесовозобновления в некоторых регионах, главным образом на заброшенных сельскохозяйственных землях. {6.3.2; таблица 6.2}

Из 555 [470 - 640] ПгС, выброшенных в атмосферу в результате сжигания ископаемого топлива и землепользования в период с 1750 по 2011 гг., 240 [230 - 250] ПгС аккумулировалось в атмосфере, согласно оценкам очень высокой точности, после наблюдаемого увеличения атмосферной концентрации CO₂ с 278 [273 - 283] ppm¹⁰ в 1750 г. до 390,5 [390,4 - 390,6] ppm в 2011 г. Количество CO₂ в атмосфере выросло на 4,0 [3,8 - 4,2] ПгС год⁻¹ в первой декаде XXI века. Распределение наблюдаемого увеличения CO₂ в атмосфере по широтам четко показывает, что увеличение обусловлено антропогенными выбросами, которые осуществляются в первую очередь промышленно развитыми странами, расположенными к северу от экватора. На основе среднегодовых концентраций, станции в СП показывают несколько более высокие концентрации, чем станции, находящиеся в ЮП. Независимые доказательства антропогенного происхождения наблюдаемого повышения содержания CO₂ в атмосфере основаны на наблюдаемом последовательном уменьшении содержания кислорода (O₂) в атмосфере и уменьшении стабильного изотопного отношения CO₂ (¹³C/¹²C) в атмосфере (рисунок ТР.5). {2.2.1, 6.1.3}

⁹ 1 петаграмм углерода = 1 ПгС = 10¹⁵ грамм углерода = 1 гигатонна углерода = 1 ГтС. Это соответствует 3,667 ГтCO₂.

¹⁰ ppm (частей на миллион) или ppb (частей на миллиард, 1 миллиард = 1000 миллионов) – это отношение количества молекул парникового газа к общему количеству молекул сухого воздуха. Например, 300 ppm означает 300 молекул парникового газа на миллион молекул сухого воздуха.

Оставшееся количество углерода, выбрасываемого в результате сжигания ископаемого топлива и землепользования, было повторно поглощено океаном и наземными экосистемами. Благодаря значительной согласованности независимых оценок, проведенных с использованием различных методов и наборов данных (например, данные об океаническом углероде, кислороде и непостоянных трассерах), можно сказать, что глобальный запас антропогенного углерода в океане, *весьма вероятно*, увеличился с 1994 по 2010 гг. В 2011 г. согласно оценкам он составлял 155 [125 - 185] ПгС. Темпы годового глобального поглощения океаном,

рассчитанные по независимым наборам данных (на основе изменений запаса антропогенного углерода в океане, измерений отношения атмосферного кислорода к азоту (O_2/N_2) или данных о парциальном давлении CO_2 (pCO_2)) и для различных временных периодов, согласуются друг с другом в рамках своих неопределенностей и, *весьма вероятно*, находятся в пределах от 1,0 до 3,2 ПгС год⁻¹. Региональные наблюдения темпов накопления антропогенного углерода в океане в значительной мере согласуются с ожидаемыми темпами, связанными с повышением атмосферных концентраций CO_2 , но со значительными пространственными и временными вариациями. {3.8.1, 6.3}

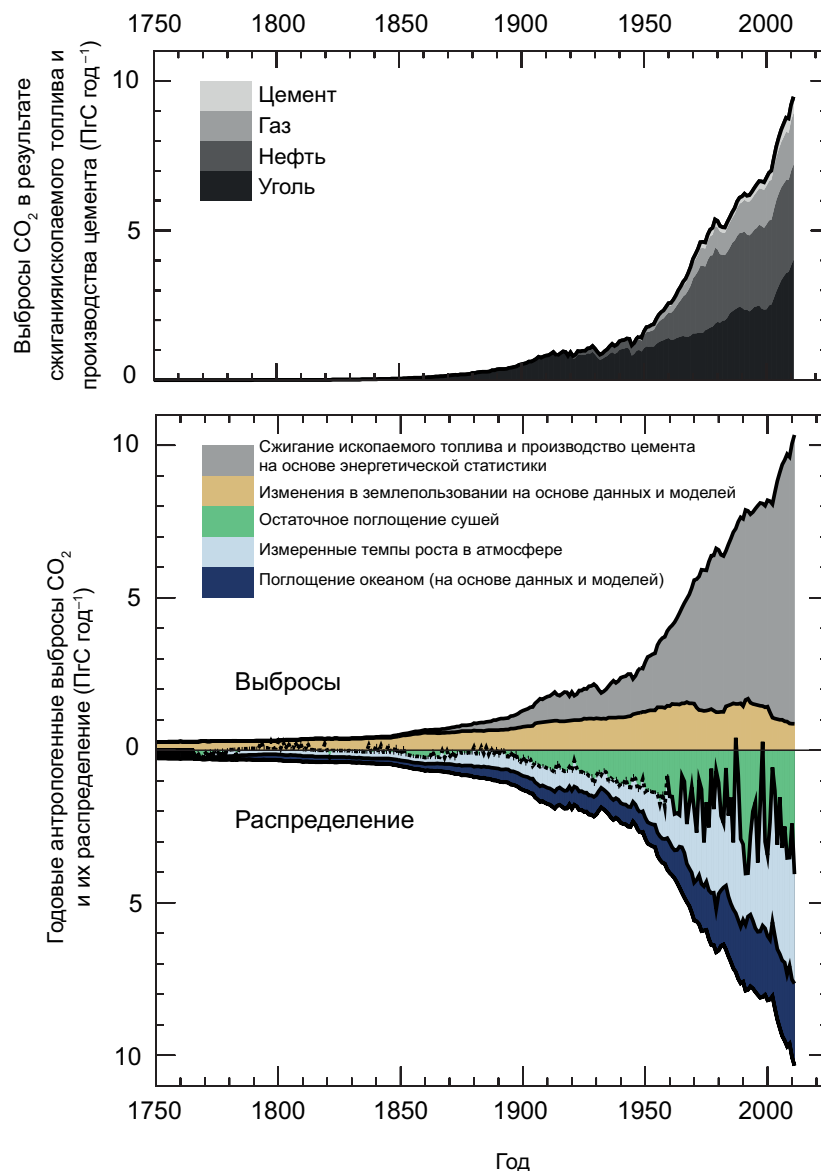


Рисунок TP.4 | Годовые антропогенные выбросы CO_2 и их распределение между атмосферой, сушей и океаном (ПгС год⁻¹) с 1750 по 2011 гг. (Верхняя часть) Оценка выбросов CO_2 в результате сжигания ископаемого топлива и производства цемента по категориям, проведенная Центром анализа информации о диоксиде углерода (CDIAC). (Нижняя часть) Выбросы CO_2 в результате сжигания ископаемого топлива и производства цемента, как показано в верхней части. Информация о выбросах CO_2 как следствие чистых изменений в землепользовании, главным образом обезлесения, основана на данных об изменении растительного покрова (см. таблицу 6.2). Определение темпов роста атмосферной концентрации CO_2 до 1959 г. основано на сплайн интерполяции данных ледяных кернов и обобщении данных атмосферных измерений с 1959 г. Интерполяция данных ледяных кернов не охватывают значительную межгодовую изменчивость атмосферного CO_2 и показана прерывистой линией. Поглощение CO_2 океаном определяется на основе комбинации данных моделирования и наблюдений. Остаточное поглощение почвой (показано зеленым цветом на рисунке) вычислено по остаточным значениям других показателей. Выбросы и их распределение включают только потоки, которые изменились с 1750 г., и не включают естественные потоки CO_2 (например, поглощение атмосферного CO_2 в результате воздействия атмосферных условий, утечка CO_2 из озер и рек и утечка CO_2 , доставленного реками, из океана; см. рисунок 6.1) между резервуарами атмосферы, суши и океана, которые существовали до этого периода времени и все еще существуют сегодня. Неопределенности различных показателей рассмотрены в главе 6 и представлены в таблице 6.1 для десятилетних средних значений. {Рисунок 6.8}

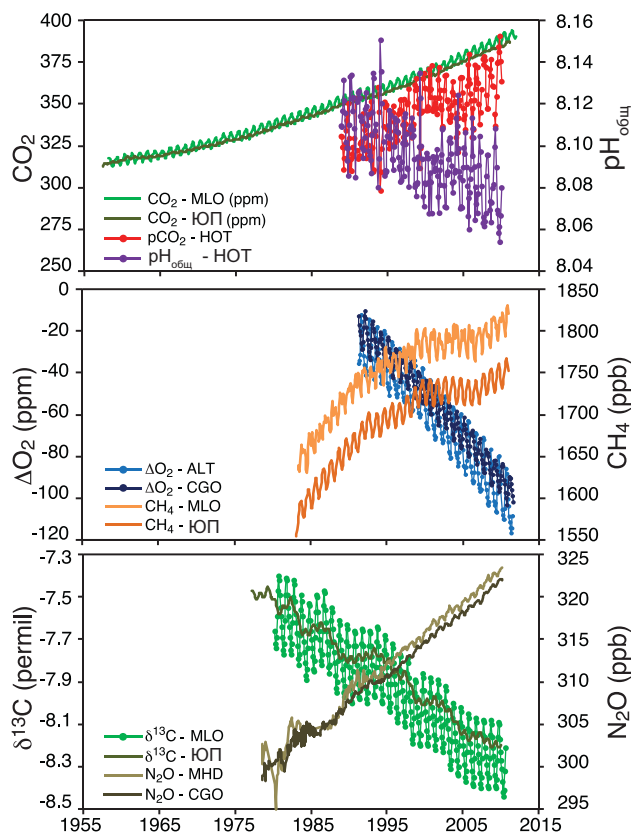


Рисунок TP.5 | Атмосферные концентрации CO₂, кислорода, отношение стабильного изотопа ¹³C/¹²C в CO₂, а также атмосферные концентрации CH₄ и N₂O и данные наблюдений за парциальным давлением CO₂ на поверхности океана (pCO₂) и pH, зарегистрированные как репрезентативные временные ряды данных на станциях в Северном и Южном полушариях. MLO: обсерватория Мауна-Лоа, Гавайи; ЮП: Южный полюс; HOT: Гавайская станция Ocean Time-Series; MHD: Мейс-Хед, Ирландия; CGO: Кейп-Грим, Тасмания; ALT: Алерт, Северо-западные территории, Канада. Более подробная информация в отношении рисунка РП.4 приведена в Дополнительном материале TP. {Рисунки 3.18, 6.3; ЧЗВ 3.3, рисунок 1}

Природные наземные экосистемы (на которые изменения в землепользовании не оказывают влияния) по оценкам, полученным на основе разницы изменений в других резервуарах, накопили 160 [70 - 250] ПгС между 1750 и 2011 гг. Прирост массы углерода в природных наземных экосистемах происходит, согласно оценкам, в результате поглощения CO₂ главным образом в ходе более активного процесса фотосинтеза при более высоких уровнях CO₂, а также повышенного отложения азота и увеличения продолжительности вегетационного периода в средних и высоких широтах. Естественные стоки углерода варьируются в зависимости от региона в результате физических, биологических и химических процессов, происходящих в различных временных масштабах. Избыток атмосферного CO₂, поглощенного земными экосистемами, накапливается в виде органического вещества в различных углеродных пулах - от короткоживущих (листва, тонкие корни) до долгоживущих (стебли, почвенный углерод). {6.3; таблица 6.1}

TP.2.8.2 Углерод и закисление океана

Абсорбция океаном антропогенного CO₂ приводит к постепенному закислению океана. С начала индустриальной эры pH¹¹ поверхностного

слоя океана снизился на 0,1 (*высокая степень достоверности*), что соответствует повышению концентрации ионов водорода на 26%. Наблюдаемые диапазоны трендов pH составляют от -0,0014 до -0,0024 в год для поверхностных вод. На глубине океана естественные физические и биологические процессы, а также поглощение антропогенного CO₂ могут вызвать изменения pH за десятилетие и в более продолжительных временных масштабах. {3.8.2; вставка 3.2; таблица 3.2; ЧЗВ 3.3}

TP.2.8.3 Метан

Концентрация CH₄ увеличилась в 2,5 раза с доиндустриальных времен, а именно с 722 [697 - 747] ppb в 1750 г. до 1803 [1799 - 1807] ppb в 2011 г. (рисунок TP.5). Существует весьма *высокая степень достоверности* того, что увеличение CH₄ в атмосфере в ходе индустриальной эры произошло в результате антропогенной деятельности. Огромное увеличение числа жвачных животных, выбросы, связанные с добычей и использованием ископаемого топлива, увеличение площадей рисовых полей и выбросы со свалок мусора и отходов являются доминирующими антропогенными источниками CH₄. На долю антропогенных выбросов приходится от 50 до 65% общего объема выбросов. При добавлении природных геологических выбросов CH₄, которые не учитывались в предыдущих бюджетах, компонент ископаемого топлива в общих выбросах CH₄ (т.е. антропогенные выбросы, связанные с утечками в индустрии, работающей на ископаемом топливе, и естественными геологическими утечками) в настоящее время по оценкам составляет около 30% общих выбросов CH₄ (*средняя степень достоверности*). {2.2.1, 6.1, 6.3.3}

В последние десятилетия рост содержания CH₄ в атмосфере был непостоянным. Концентрации CH₄ были относительно стабильными на протяжении примерно десятилетия в 1990-х годах, но затем в 2007 г. опять начался их рост. Точные факторы этого возобновленного роста до сих пор обсуждаются. Связанные с климатом колебания выбросов CH₄ из естественных заболоченных территорий (177 до 284 x10¹² г (CH₄) год⁻¹ в 2000-2009 гг. согласно восходящим оценкам) являются основными факторами, обуславливающими глобальную межгодовую изменчивость выбросов CH₄ (*высокая степень достоверности*) в сочетании с менее значительным вкладом в виде выбросов в результате сжигания биомассы в те годы, в которые наблюдались обширные пожары {2.2.1, 6.3.3; таблица 6.8}.

TP.2.8.4 Закись азота

С доиндустриальных времен концентрация N₂O в атмосфере увеличилась в 1,2 раза (рисунок TP.5). Изменения азотного цикла в дополнение к взаимодействиям с источниками и поглотителями CO₂ влияют на выбросы N₂O как на суше, так и из океана. {2.2.1, 6.4.6}

TP.2.8.5 Кислород в океане

Высокая согласованность результатов анализов обеспечивает *среднюю степень достоверности* того, что концентрации кислорода уменьшилась в термоклине открытого океана во многих районах океана с 1960-х годов. Общий спад согласуется с ожиданием того, что вызванная потеплением стратификация ведет к меньшему поступлению кислорода в термоклины из приповерхностных вод, что более теплые воды могут содержать меньше кислорода и что изменения вызванной ветром циркуляции влияют на концентрации кислорода. Тропические зоны с минимальным содержанием кислорода, *вероятно*, расширились за последние десятилетия. {3.8.3}

¹¹ pH является мерой кислотности: уменьшение значения pH означает увеличение кислотности, то есть закисление.

ТР.3 Факторы, влияющие на изменение климата

ТР.3.1 Введение

Деятельность человека изменила и продолжает изменять поверхность Земли и состав ее атмосферы. Некоторые из этих изменений оказывают прямое или косвенное влияние на энергетический баланс Земли и, таким образом, являются факторами, влияющими на изменение климата. Радиационное воздействие (РВ) является мерой результирующего изменения энергетического баланса системы Земля как реакции на некоторое внешнее возмущение (см. вставку ТР.2), при этом положительное РВ ведет к потеплению, а отрицательное РВ к похолоданию. Концепция РВ является ценной для сравнения воздействия на СГПТ большинства отдельных факторов, влияющих на радиационный баланс Земли. Количественные значения, представленные в ДО5, согласуются со значениями, приведенными в предыдущих докладах МГЭИК, хотя имел место пересмотр некоторых важных моментов (рисунок ТР.6). Эффективное радиационное воздействие (ЭРВ) в настоящее время используется для того, чтобы количественно определить некоторые агенты воздействия, что включает быстрые подстройки компонентов атмосферы и поверхности, которые предполагаются постоянными в концепции РВ (см. вставку ТР.2). РВ и ЭРВ оцениваются на основе изменения в период 1750 - 2011 гг, именуемый «индустриальной эпохой», если не заявляется четко о других временных периодах. Приведенные неопределенности связаны с наилучшими оценками РВ и ЭРВ, при этом значения представляют от 5 до 95% (90%) доверительного интервала. {8.1, 7.1}

Помимо глобального среднего РВ или ЭРВ пространственное распределение и временная эволюция воздействия, а также обратная климатическая связь играют роль в определении возможного воздействия различных факторов на климат. Изменения поверхности суши могут также влиять на местный и региональный климат посредством процессов, которые не являются радиационными по своей природе. {8.1, 8.3.5, 8.6}

ТР.3.2 Радиационное воздействие парниковых газов

Деятельность человека ведет к изменению состава атмосферы либо прямо (через выбросы газов или частиц) либо косвенно (через атмосферную химию). Антропогенные выбросы обуславливали изменения концентраций хорошо перемешанных парниковых газов (ХППГ) в ходе индустриальной эры

(см. раздел ТР.2.8 и ФЭТ.7). Поскольку исторические концентрации ХППГ с доиндустриальной эры хорошо известны на основе прямых измерений и данных ледовых кернов, а радиационные свойства ХППГ также хорошо известны, расчет РВ, вызванного изменениями концентрации, обеспечивает строго ограниченные значения (рисунок ТР.6). В нашем понимании радиационного воздействия ХППГ не было значительного изменения и, соответственно, изменение оценок РВ относительно ДО4 существенным образом связано с увеличениями концентрации. Наилучшая оценка ЭРВ ХППГ та же, что и для РВ, но диапазон неопределенности в два раза больше в связи с плохо ограниченными реакциями облаков. Благодаря высококачественным наблюдениям очевидно, что увеличение атмосферных нагрузок большинства ХППГ, особенно CO_2 , привело к дальнейшему увеличению их РВ с 2005 по 2011 гг. РВ всех ХППГ с учетом изменений концентрации составляло 2,83 [2,54 - 3,12] Вт м⁻² в 2011 г. (*весьма высокая степень достоверности*). Это увеличение на 0,20 [0,18 до 0,22] Вт м⁻² после ДО4, при этом в основном все это увеличение произошло вследствие повышения содержания CO_2 с 2005 г. В индустриальную эру РВ только CO_2 составляет 1,82 [1,63 - 2,01] Вт м⁻². Последние 15 лет CO_2 являлся доминирующим фактором увеличения РВ ХППГ, при этом средние темпы усиления РВ CO_2 немного меньше 0,3 Вт м⁻² за десятилетие. Неопределенность в отношении РВ ХППГ частично связана с их радиационными свойствами, но большей частью обусловлена полным учетом атмосферного радиационного переноса, включая облака. {2.2.1, 5.2, 6.3, 8.3, 8.3.2; таблица 6.1}

После десятилетия относительной стабильности недавнее повышение концентрации CH_4 привело к усилению РВ, по сравнению с ДО4, на 2% до 0,48 [0,43 - 0,53] Вт м⁻². *Весьма вероятно*, что РВ CH_4 в настоящее время больше, чем совокупности всех галогенуглеродов. {2.2.1, 8.3.2}

Атмосферная концентрация N_2O увеличилась на 6% после ДО4, что привело к значению РВ, равному 0,17 [0,14 - 0,20] Вт м⁻². Концентрации N_2O продолжают повышаться, при этом концентрации дихлордифторметана (CF_2Cl_2 , CFC-12) - третьего по значимости газа из числа ХППГ, который влиял на РВ на протяжении нескольких десятилетий, уменьшаются в результате поэтапного сокращения выбросов этого химического вещества в соответствии с Монреальским протоколом. После ДО4, N_2O обогнала ХФУ-12 и стала третьим самым значительным ХППГ, влияющим на РВ. Значения РВ галогенуглеродов в значительной степени согласуются со значениями, приведенными в ДО4, при этом РВ ХФУ сократилось, но усиливается воздействие многих их заменителей. На долю четырех галогенуглеродов (трихлорфторметан

Вставка ТР.2 | Радиационное воздействие и эффективное радиационное воздействие

РВ и ЭРВ используются для того, чтобы количественно определять изменение энергетического баланса Земли, которое происходит в результате внешнего воздействия. Они выражаются в ваттах на квадратный метр (Вт м⁻²). РВ определено в ДО5, как и в предыдущих оценках МГЭИК, как изменение результирующего нисходящего потока (коротковолновый + длинноволновый) в тропосфере после того, как стратосферные температуры смогут вновь подстроиться к радиационному равновесию, при этом другие переменные состояния, такие как тропосферные температуры, водяной пар и облачный покров, остаются зафиксированными на уровне их невозмущенных значений (см. глоссарий). {8.1.1}

Хотя концепция РВ доказала свою большую ценность, ее углубленное осознание показало, что учет факторов быстрых подстроек поверхности Земли и тропосферы может обеспечить лучшие метрические показатели для количественного определения реакции климата. Эти быстрые подстройки происходят в различных временных масштабах, но являются относительно отличными от реакций на изменение СГПТ. Аэрозоли, в частности, влияют на профиль температуры атмосферы и свойства облаков во временном масштабе гораздо более коротком по сравнению с подстройками океана (даже верхнего слоя) в результате воздействий. Концепция ЭРВ, определенная в ДО5, предусматривает быстрые подстройки к возмущениям для всех переменных, за исключением СГПТ или температуры океана и морского ледового покрова к возмущениям. Значения ЭРВ и РВ значительно отличаются для антропогенных аэрозолей в связи с их влиянием на облака и на снежный или ледовый покров. В отношении других компонентов, которые обуславливают энергетический баланс Земли, таких как ПГ, ЭРВ и РВ довольно аналогичны, и РВ может принести сравнимую пользу с учетом того, что оно требует меньше вычислительных ресурсов для расчета и не подвержено воздействию метеорологической изменчивости, и таким образом может лучше изолировать небольшие воздействия. В тех случаях, когда РВ и ЭРВ различаются значительно, ЭРВ проявило себя как более лучший показатель реакции СГПТ и поэтому в ДО5 ему уделяется особое внимание. {7.1, 8.1; вставка 8.1}

(CFCl₃, ХФУ-11), ХФУ-12, трихлортрифторэтана (CF₂ClCFCl₂, ХФУ-113) и хлордифторметана (CHF₂Cl, ГХФУ-22) приходится 85% общего РВ галогенуглеродов. Три первых компонента характеризуются уменьшением РВ за последние пять лет, но их действие более чем компенсируется усилением РВ ГХФУ-22. Существует *высокая степень достоверности* того, что темпы роста РВ всех ХППГ за последнее десятилетие слабее, чем в 1970-х и 1980-х годах благодаря более медленному усилению РВ парниковых газов, отличных от CO₂. {2.2.1, 8.3.2}

Короткоживущий ПГ озон (O₃) и стратосферный водяной пар также вносят вклад в антропогенное воздействие. Данные наблюдений показывают, что содержание O₃, *вероятно*, увеличилось во многих невозмущенных (фоновое значение) местах в 1990-х годах. Эти повышения продолжались главным образом над Азией (хотя наблюдения охватывают ограниченный район) и становилось менее значительным над Европой в течение последнего десятилетия. Общее РВ, вызванное изменениями содержания O₃, составляет 0,35 [0,15 - 0,55] Вт м⁻² (*высокая степень достоверности*), при этом РВ, вызванное тропосферным O₃, равно 0,40 [0,20 - 0,60] Вт м⁻²

Радиационное воздействие на климат между 1750 и 2011 гг.

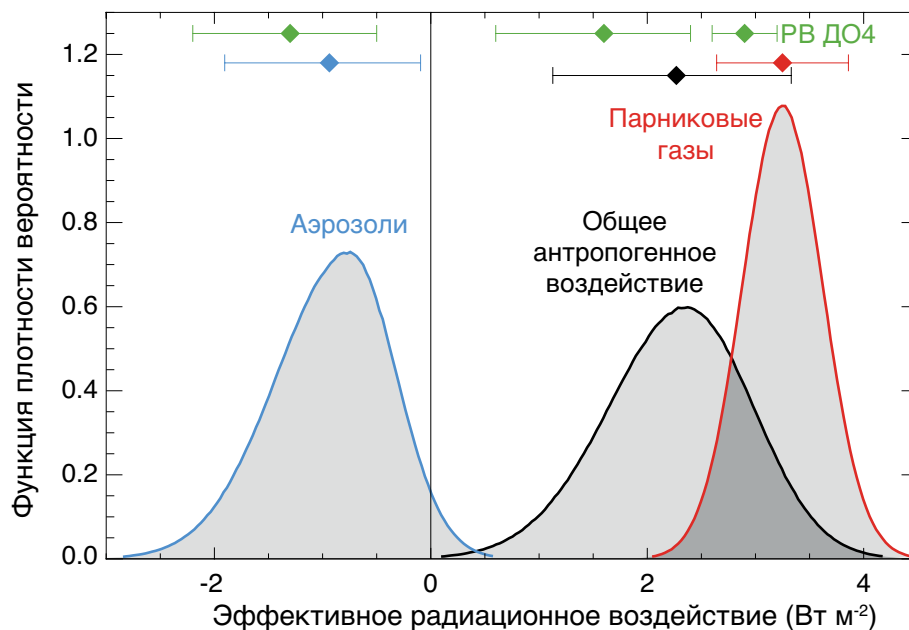
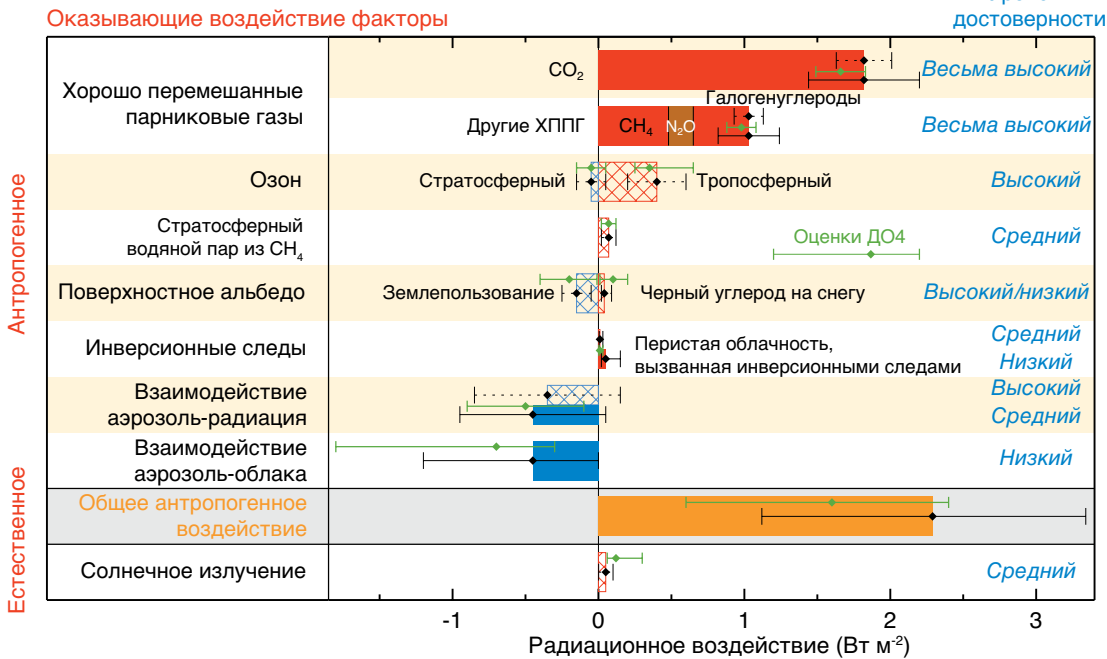


Рисунок TP.6 | Радиационное воздействие (РВ) и эффективное радиационное воздействие (ЭРВ) изменения климата в индустриальную эру. (Верхняя часть) Воздействие в соответствии с изменением концентрации в период между 1750 и 2011 гг. с соответствующим диапазоном неопределенности (цветные полосы показывают ЭРВ, заштрихованные полосы показывают РВ, зеленые ромбы и соответствующие неопределенности относятся к РВ, оцененному в ДО4). (Нижняя часть) Функции плотности вероятности (ФПВ) для ЭРВ, аэрозолей, парниковых газов (ПГ) и совокупности. Зеленые линии показывают 90-процентные доверительные интервалы РВ ДО4 и могут сравниться с красной, синей и черной линиями, которые показывают 90-процентные доверительные интервалы ЭРВ ОД5 (хотя РВ и ЭРВ различаются, особенно в отношении аэрозолей). ЭРВ альbedo поверхности меняется и воздействие совокупности инверсионных следов и перистых облаков, образуемых инверсионными следами, включено в общее антропогенное воздействие, но не показано как отдельная ФПВ. Для некоторых механизмов воздействия (озон, землепользование, солнечное излучение) РВ предположительно соответствует ЭРВ, но в квадратуру неопределенности РВ включена дополнительная неопределенность в 17%. {Рисунки 8.15, 8.16}

(высокая степень достоверности,) а стратосферным O_3 равно $-0,05$ [$-0,15$ - $+0,05$] $Вт м^{-2}$ (высокая степень достоверности). O_3 не выбрасывается непосредственно в атмосферу, а образуется в результате фотохимических реакций. В тропосфере эти реакции происходят с участием соединений-прекурсоров, которые выбрасываются в атмосферу из разнообразных естественных и антропогенных источников. РВ тропосферного O_3 в значительной степени связано с увеличением выбросов CH_4 , монооксида углерода, летучих органических соединений и оксидов азота, при этом стратосферное РВ является в основном результатом истощения озонового слоя (O_3) антропогенными галогенуглеродами. Однако, сейчас существует четкое доказательство существенных связей между изменениями тропосферного и стратосферного O_3 , и общее РВ, вызываемое O_3 , в $0,50$ [$0,30$ - $0,70$] $Вт м^{-2}$ объясняется выбросами прекурсора тропосферного O_3 и РВ в $-0,15$ [$-0,30$ - $0,00$] $Вт м^{-2}$ в результате истощения озонового слоя (O_3) галогенуглеродами. Существует четкое доказательство того, что тропосферный O_3 также пагубно воздействует на процесс вегетации и, в этой связи, на его способность поглощать CO_2 . Это уменьшение поглощения ведет косвенному увеличению атмосферной концентрации CO_2 . Таким образом, долю РВ, связанного с CO_2 , следует объяснять скорее присутствием озона или его прекурсоров, а не к прямым выбросом CO_2 , но существует низкая степень достоверности относительно количественных оценок. РВ стратосферного водяного пара, полученного в результате окисления CH_4 , составляет $0,07$ [$0,02$ - $0,12$] $Вт м^{-2}$. Другие изменения стратосферного водяного пара и все изменения водяного пара в тропосфере рассматриваются в качестве скорее обратной связи, а не воздействия. {2.2.2, 8.1-8.3; ЧЗВ 8.1}

ТР.3.3 Радиационное воздействие антропогенных аэрозолей

Антропогенные аэрозоли обуславливают климатическое РВ посредством множества процессов, которые могут быть сгруппированы по двум типам: взаимодействия аэрозоль-радиация (вар) и взаимодействия аэрозоль-облака (вао). С момента выхода Д04 отмечается прогресс в отношении наблюдений и моделирования свойств аэрозолей, относящихся к климату (включая их распределение по размерам, гигроскопичность, химический состав, состояние смешения, оптические характеристики и характеристики нуклеации в облаках) и их атмосферное распределение. Тем не менее, в оценках долгосрочных трендов глобальной аэрозольной оптической толщины и других соответствующих глобальных свойств аэрозолей по-прежнему сохраняются значительные неопределенности, вызванные трудностями измерений и недостатком наблюдений за некоторыми соответствующими параметрами, значительной пространственной и временной изменчивостью и наличием относительно коротких рядов данных наблюдений. Наилучшая оценка антропогенного РВвар получена на основе данных моделей аэрозолей и с некоторым отходом от данных наблюдений и составляет $-0,35$ [от $-0,85$ до $+0,15$] $Вт м^{-2}$ (высокая степень достоверности). РВвар вызвано многими типами аэрозолей (см. раздел ТР3.6). Быстрая подстройка к РВвар ведет к дальнейшему отрицательному воздействию, в частности посредством подстроек облаков, и связана главным образом с черным углеродом. В результате этого ЭРВвар является более отрицательным нежели РВвар (низкая степень достоверности) и в соответствии с наилучшей оценкой составляет $-0,45$ [от $-0,95$ до $+0,05$] $Вт м^{-2}$. Величина РВвар по оценкам менее отрицательна, чем та, которая приводится в Д04, вследствие переоценки аэрозольного поглощения. Оценка неопределенности шире, но более робастная. {2.2.3, 7.3, 7.5.2}

Углубленное понимание взаимодействий аэрозоль-облака привело к сокращению величины многих оценок глобальных воздействий аэрозоль-облака. Общее ЭРВ аэрозолей (ЭРВвар+вао, без учета воздействия поглощающего аэрозоля на снег и лед) оценивается в $-0,9$ [от $-1,9$ до $0,1$] $Вт м^{-2}$ (средняя степень достоверности). Эта оценка охватывает все быстрые подстройки, включая изменения времени жизни облаков и микрофизические воздействия аэрозоля на облака со смешанной фазой, ледяные и конвективные облака. Этот диапазон был получен благодаря придании

равного веса спутниковым исследованиям и оценкам на основе моделей климата. Он согласуется с многими рядами данных, свидетельствующих о менее отрицательных оценках взаимодействий аэрозоль-облака по сравнению с рассмотренными в Д04. {7.4, 7.5, 8.5}

РВ черного углерода (ЧУ) на снег и лед по оценкам составляет $0,04$ [$0,02$ - $0,09$] $Вт м^{-2}$ (низкая степень достоверности). В отличие от предыдущей оценки МГЭИК данная оценка включает воздействия на морской лед, учитывает большее количество физических процессов и включает данные как моделей, так и данные наблюдений. Это РВ вызывает в два - четыре раза большее изменение СГПТ на единицу воздействия, чем CO_2 , преимущественно из-за того, что вся энергия воздействия накапливается прямо в криосфере, эволюция которой обуславливает положительное обратное воздействие альбедо на климат. Этот эффект может, таким образом, представлять собой механизм значительного воздействия в Арктике и других регионах, покрытых снегом или льдом. {7.3, 7.5.2, 8.3.4, 8.5}

Несмотря на большие диапазоны неопределенности в отношении воздействия аэрозолей, существует высокая степень достоверности того, что аэрозоли в значительной степени компенсировали воздействие ПГ. Взаимодействия аэрозоль-облака могут влиять на характер отдельных штормов, однако данные о систематическом воздействии аэрозолей на интенсивность штормов или осадков являются более ограниченными и неопределенными. {7.4, 7.6, 8.5}

ТР.3.4 Радиационное воздействие, вызванное изменениями земной поверхности и конденсационными следами

Существует четкое доказательство того, что антропогенные изменения в землепользовании, такие как обезлесение, повысили альбедо земной поверхности, следствием чего стало РВ в $-0,15$ [от $-0,25$ до $-0,05$] $Вт м^{-2}$. Все еще имеет место значительное разброс количественных оценок из-за различных допущений в отношении альбедо естественных и управляемых поверхностей (напр., сельхозугодья, пастбища). Кроме того, все еще обсуждаются временная эволюция изменений в землепользовании и, в частности, то, насколько они были завершены в эталонном 1750 г. Более того, изменения в землепользовании являются причиной других изменений, которые не являются радиационными, но воздействуют на приземную температуру, включая изменения рельефа поверхности, потока скрытого тепла, речного стока и ирригации. Они более неопределены и их сложно определить количественно, но они имеют тенденцию компенсировать воздействие изменений альбедо в глобальном масштабе. Как следствие, из-за изменений в землепользовании существует низкий уровень согласованности в отношении знака результирующего изменения средней глобальной температуры. Изменения в землепользовании, в частности обезлесение, также имеют значительное влияние на концентрации ХППГ. Они вносят вклад в соответствующее РВ, связанное с выбросами или изменениями концентрации CO_2 . {8.3.5}

Стойкие конденсационные следы от авиации вносят вклад в положительное РВ, которое составляет $0,01$ [$0,005$ - $0,03$] $Вт м^{-2}$ (средняя степень достоверности) для 2011 г., и комбинированное ЭРВ конденсационных следов и перистых облаков, образованных конденсационными следами от авиации, которое оценивается в $0,05$ [$0,02$ - $0,15$] $Вт м^{-2}$ (низкая степень достоверности). Это воздействие может быть значительно больше по регионам, но в настоящее время существует средняя степень достоверности того, что оно не вызывает наблюдаемых региональных последствий ни для среднего, ни для суточного диапазона приземной температуры. {7.2.7}

ТР.3.5 Радиационное воздействие естественных факторов изменения климата

Воздействия солнечного излучения и вулканической деятельности являются двумя доминирующими естественными составляющими, внесшими вклад в глобальное изменение климата в индустриальную эру. Спутниковые наблюдения за изменениями суммарного потока солнечного излучения (СПСИ), осуществляемые с 1978 г., показывают квазипериодическую циклическую вариацию с периодом в примерно 11 лет. Более долгосрочное воздействие обычно оценивается посредством сравнения солнечного минимума (в ходе которого изменчивость наименьшая). Это дает изменение РВ на уровне $-0,04$ [от $-0,08$ до $0,00$] Вт m^{-2} между наиболее недавним минимумом (2008 г.) и минимумом 1986 г. Однако существует некоторое разнообразие оцениваемых трендов составляющих различных спутниковых данных. Вековые тренды СПСИ до начала спутниковых наблюдений основаны на ряде косвенных данных. По наилучшей оценке РВ, вызванного изменениями СПСИ за индустриальную эру, составляет $0,05$ [$0,00 - 0,10$] Вт m^{-2} (средняя степень достоверности), что включает повышение РВ до приблизительно 1980 г. и последующий незначительный ниспадающий тренд. Эта оценка РВ значительно меньше оценки ДО4 из-за добавления самого последнего солнечного цикла и несоответствий в методике расчета солнечного РВ в предыдущих оценках МГЭИК. Последний минимум солнечной активности был, видимо, необычно низким и длительным, и несколько проекций показывают на более низкий СПСИ в грядущие десятилетия. Однако, текущие возможности для подготовки проекций солнечного излучения крайне ограничены, в связи с чем имеется *очень низкая степень достоверности* относительно будущего воздействия солнечного излучения. Тем не менее, существует *высокая степень достоверности* того, что в XXI веке воздействие солнечного излучения будет гораздо меньше, чем прогнозируемое усиление воздействия ХППГ. {5.2.1, 8.4.1; ЧЗВ 5.1}

Изменения солнечной активности воздействуют на поток космических лучей, входящий в атмосферу Земли, которые гипотетически влияют на климат вследствие изменений облачности. Космические лучи усиливают нуклеацию аэрозолей и таким образом могут влиять на образование облачных ядер конденсации в свободной тропосфере, но эффект слишком слаб для того, чтобы иметь какие-либо климатические последствия в течение солнечного цикла или последнего столетия (умеренное доказательство, высокая согласованность). Не было выявлено никакой явной взаимосвязи между изменениями космических лучей и облачным покровом. Если бы такая связь существовала, то потребовалось бы объяснение механизма ее действия, отличного от механизма нуклеации новых аэрозольных частиц, вызванной космическими лучами. {7.3, 7.4.6}

РВ стратосферных вулканических аэрозолей в настоящее время хорошо изучено и на протяжении нескольких лет после крупных вулканических извержений существует значительное РВ (вставка ТР.5, рисунок 1). Несмотря на то, что с извержением вулканов в атмосферу выбрасываются как минеральные частицы, так и прекурсоры сульфатных аэрозолей, последние, благодаря их маленькому размеру и длительному времени жизни, являются причиной важного для климата РВ. Выбросы CO_2 в результате вулканических извержений по крайней мере в 100 раз меньше, чем антропогенные выбросы, и не имеют существенного значения для климата в масштабе столетий. Крупные тропические вулканические извержения играли важную роль в изменении климата в годовом – десятилетнем масштабе в индустриальную эру благодаря их иногда очень значительному отрицательному РВ. После извержения вулкана Пинатубо в 1991 г. не было столь значительных вулканических извержений, которые бы стали причиной однолетнего РВ, равного примерно $-3,0$ Вт m^{-2} , но несколько более мелких извержений стали причиной РВ, осредненная за период 2008-2011 гг. величина которого равна $-0,11$ [от $-0,15$ до $-0,08$] Вт m^{-2} (*высокая степень достоверности*), что в два раза превышает среднее значение за период 1999-2002 гг. Менее масштабные извержения содействовали лучшему пониманию зависимости РВ от количества вещества, поступившего в результате выбросов в высоких широтах, а также того времени года, в которое они произошли. {5.2.1, 5.3.5, 8.4.2; приложение II}

ТР.3.6 Обобщение воздействий; пространственная и временная эволюция

Обобщение данных о воздействиях, имевших место в индустриальную эру, говорит о том, что из числа оказывающих воздействие веществ только ХППГ характеризуются *весьма высокой степенью достоверности* оказания ими РВ. По сравнению с ДО4, степень достоверности повысилась для семи оказывающих воздействие веществ вследствие повышения качества данных и информированности. {8.5; рисунок 8.14}

Временная эволюция общего антропогенного РВ показывает почти непрерывное его повышение с 1750 г., особенно с, примерно, 1860 г. Общие темпы повышения антропогенного РВ с 1960 г. были значительно выше, чем в начальных периодах индустриальной эры, что обуславливалось преимущественно непрерывным увеличением концентраций большинства ХППГ. Низкой остается степень согласия относительно временной эволюции общего ЭРВ аэрозолей, что является первичным фактором неопределенности общего антропогенного воздействия. Относительная неопределенность общего антропогенного воздействия постепенно снижается после 1950 г. вследствие уменьшения компенсации положительного воздействия ХППГ негативным воздействием аэрозолей. Имеются четкие доказательства и значительная согласованность мнений в отношении того, что естественное воздействие является малой долей воздействия ХППГ. Изменения естественного воздействия за последние 15 лет, *вероятно*, компенсировали значительную часть (по меньшей мере 30%) увеличения антропогенного воздействия в этот период (вставка ТР.3). Воздействие CO_2 является самым крупным единичным фактором, способствовавшим общему воздействию в индустриальную эру и в период 1980-2011 гг. По сравнению со всем периодом индустриальной эры доминирующее воздействие CO_2 относительно других ХППГ было более значительным в 1980-2011 гг в плане изменения воздействия, и компенсация воздействия ХППГ за счет воздействия аэрозолей в этот период была с *высокой степенью достоверности* значительно меньше, чем в период 1950-1980 гг.. {8.5.2}

Воздействие может также объяснить скорее выбросами, а не результирующими изменениями концентрации (рисунок ТР.7). Диоксид углерода является самым крупным единичным фактором, способствующим РВ в историческом плане как в перспективе изменений атмосферной концентрации CO_2 , так и влияния изменений результирующих выбросов CO_2 . Однако относительная важность других оказывающих воздействие веществ может значительно варьироваться в зависимости от выбранной перспективы. В частности, выбросы CH_4 имеют более значительное воздействие (около $1,0$ Вт m^{-2} в индустриальную эру), чем повышения концентрации CH_4 (около $0,5$ Вт m^{-2}), вследствие нескольких косвенных эффектов, связанных с химией атмосферы. Кроме того, выбросы оксида углерода, *практически определенно*, оказывают положительное воздействие, при этом выбросы химически активных закисей азота оказывают, *вероятно, вероятно* отрицательное воздействие, но неопределенности этого значительны. Выбросы озоноразрушающих галогенуглеродов, *весьма вероятно*, оказывают *вероятно* положительное воздействие, поскольку их прямой радиационный эффект больше, чем воздействие истощения стратосферного озона, которое они вызывают. Выбросы SO_2 , органического углерода и аммиака оказывают отрицательное воздействие, а выбросы черного углерода положительное воздействие через взаимодействия аэрозоль-радиация. Следует отметить, что воздействие минеральной пыли может включать естественный компонент или эффект обратной климатической связи. {7.3, 7.5.2, 8.5.1}

В то время как ХППГ характеризуются пространственно равномерным воздействием, другие факторы, такие как аэрозоли, озон и изменения в землепользовании, *весьма неоднородны* в пространственном отношении. РВвар имело максимальные отрицательные значения над восточной частью Северной Америки и Европой в начале XX столетия, при этом большие отрицательные значения распространились к 1980 г на Восточную и Юго-Восточную Азию, Южную Америку и центральную часть Африки. С тех пор, однако, масштабы этого явления уменьшились над восточной частью Северной Америки и Европой благодаря борьбе с загрязнением, а пиковое

отрицательное воздействие сместилось в сторону Южной и Восточной Азии преимущественно вследствие экономического роста и результирующего повышения выбросов в этих регионах. Общее ЭРВ аэрозолей имеет аналогичные показатели в местах с максимальным отрицательным воздействием, но также оказывает значительный положительный эффект над некоторыми пустынями и Арктикой. В отличие от этого глобальное среднее воздействие всего атмосферного озона повысилось в течение XX века, и пиковые положительные амплитуды наблюдались в районе между приблизительно 15°с.ш. и 30°с.ш., но с отрицательными значениями над Антарктикой. Отрицательное воздействие землепользования в результате измененный альbedo было наиболее сильным в промышленных регионах и регионах, где происходило сжигание биомассы. Неравномерный характер этих воздействий может привести к тому, что они будут иметь значительно большее влияние на гидрологический цикл, чем эквивалентное среднее глобальное равномерное воздействие. {8.3.5, 8.6}

В XXI веке антропогенное РВ повысится по данным проекций в соответствии с репрезентативными траекториями концентраций (РТК; см. вставку ТР.6). Простые модельные оценки РВ с использованием RCP, которые включают выбросы ХППГ в широком диапазоне возможных будущих перспектив, показывают увеличение антропогенного РВ относительно 1750 г. в пределах

3,0 - 4,8 Вт м⁻² в 2050 г., и 2,7 - 8,4 Вт м⁻² в 2100 г. В ближайшей перспективе РТК весьма похожи друг на друга (диапазон опубликованных возможных будущих перспектив не охватывает выбросы в ближайшее время влияющих на климат веществ), при этом РВ в 2030 г. лежит в пределах только от 2,9 до 3,3 Вт м⁻² (дополнительное РВ за период с 2010 по 2030 гг. составляет 0,7 - 1,1 Вт год⁻²), но они демонстрируют значительное расхождение значений во второй половине XXI века, обусловленное в значительной степени воздействием CO₂. Результаты, основанные на сценариях РТК, показывают только небольшие изменения ЭРВ аэрозолей между 2000 и 2030 гг., после чего последует сильное сокращение аэрозолей и значительное ослабление отрицательного общего ЭРВ аэрозолей. Аэрозоли нитратов являются исключением для данного сокращения, поскольку оказывают значительно возросшее отрицательное воздействие, что является устойчивой особенностью нескольких имеющихся моделей. Расхождение между данными РТК является свидетельством того, что хотя определенное количество будущих климатических изменений уже «в системе» благодаря текущему радиационному дисбалансу, вызванному историческими выбросами, и длительному времени жизни некоторых находящихся в атмосфере и оказывающих воздействие веществ, сделанные обществом выборы могут все же иметь значительные последствия для будущего РВ, и таким образом для изменения климата. {8.2, 8.5.3, 12.3; рисунки 8.22, 12.4}

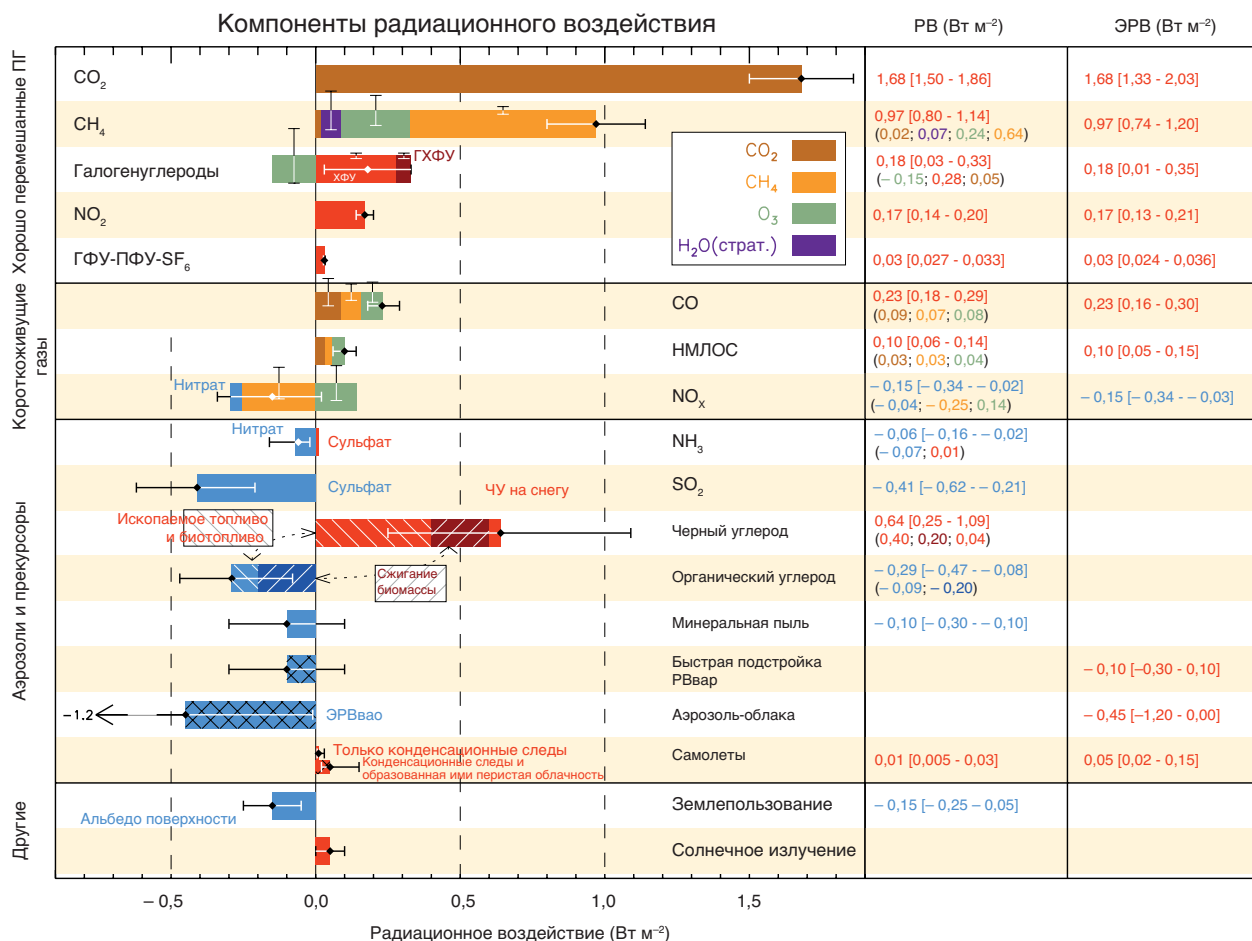


Рисунок ТР.7 | Радиационное воздействие (РВ) изменения климата в индустриальную эру представлено в виде выбросов компонентов с 1750 по 2011 гг. Горизонтальные полосы показывают общую неопределенность, а вертикальные обозначают отдельные компоненты (длина вертикальной полосы пропорциональна относительной неопределенности, при этом равенство между общей длиной и шириной полосы указывает на неопределенность в ±50%). Наилучшие оценки (слева направо) суммарных и отдельных компонентов реагирования приведены в правой колонке. Приводятся значения РВ за исключением эффективного радиационного воздействия (ЭРВ) взаимодействий между аэрозолем и облаками (ЭРВвао) и быстрые подстройки, связанные с РВ вследствие взаимодействия между аэрозолем и радиацией (Быстрые подстройки РВвар). Следует отметить, что общее РВ вследствие взаимодействия между аэрозолем и радиацией (-0,35 Вт м⁻²) слегка отличается от суммы РВ отдельных компонентов (-0,33 Вт м⁻²). Общее РВ вследствие взаимодействия между аэрозолем и радиацией является основой рисунка РП.5. Вторичный органический аэрозоль не был включен, поскольку его образование зависит от различных факторов, недостаточно определенных сейчас количественно. ЭРВ конденсационных следов включает перистую облачность, образованную конденсационными следами. Комбинация ЭРВвар -0,45 [от -1,2 до 0,0] Вт м⁻² и быстрой подстройки «вар» -0,1 [-0,3 до +0,1] Вт м⁻² дает интегрированный компонент подстройки, связанной с аэрозолями, равный -0,55 [-1,33 до -0,06] Вт м⁻². ХФУ = хлорфторуглероды, ГХФУ = гидрохлорфторуглероды, ГФУ = гидрофторуглероды, ПФУ = перфторуглероды, НМЛОС = неметановые летучие органические соединения, ЧУ = черный углерод. Более подробная информация относительно соответствующего рисунка РП.5 приведена в Дополнительном материале ТР. {Рисунок 8.17}

ТР

ТР.3.7 Климатические обратные связи

Обратные связи также играют важную роль в определении будущего изменения климата. Действительно, изменение климата может вызвать изменение гидрологического, углеродного и других биогеохимических циклов, которое может усилить (положительная обратная связь) или ослабить (отрицательная обратная связь) ожидаемое повышение температуры. Обратные связи альbedo снега и льда как известно являются положительными. Комбинированная обратная связь водяного пара и вертикального градиента температуры, весьма *вероятно*, является положительной и сейчас довольно хорошо количественно определена, при этом обратные связи облаков продолжают характеризоваться более значительными неопределенностями (см. ФЭТ.6). Кроме того, новые модели этапа 5 Проекта по взаимному сравнению сопряженных моделей (СМIP5) последовательно оценивают положительную обратную связь углеродного цикла, т.е. уменьшение естественных стоков CO₂ в ответ на будущее изменение климата. В частности, в моделях обратные связи углеродного цикла в океанах являются положительными. Углеродные стоки в тропических экосистемах суши менее постоянны и могут быть подвержены изменению климата в результате таких процессов, как засухи и пожары, которые иногда еще не полностью представлены. Ключевым обновлением после ДО4 является представление динамики питательных веществ в некоторых моделях наземного углерода СМIP5, в частности ограничения роста растений, зависящие от наличия азота. Итоговым результатом учета азотного цикла является меньший прогнозируемый сток суши для данной траектории антропогенных выбросов CO₂ (см. ФЭТ.7). {6.4, вставка 6.1, 7.2}

Модели и эксперименты, связанные с потеплением экосистем, демонстрируют значительную согласованность в отношении того, что выбросы CH₄ из водно-болотных угодий увеличатся на единицу территории в более теплом климате, при этом площадь водно-болотных угодий может увеличиться или уменьшиться в зависимости от региональных изменений температуры и осадков, влияющих на гидрологию водно-болотных угодий, и таким образом существует *низкая степень достоверности* количественных проекций выбросов CH₄ из водно-болотных угодий. Резервуары углерода в гидратах и многолетней мерзлоте очень велики, и поэтому они потенциально могут действовать в качестве мощных источников обратных связей. Несмотря на слабые ограничения, глобальные выбросы CH₄ в XXI веке из гидратов в атмосферу, *вероятно*, будут незначительными вследствие недостаточно насыщенного состояния океана, длительного времени вентиляции океана и медленного распространения тепла ко дну океана. Существует *высокая степень достоверности* того, что выброс углерода в результате таяния многолетней мерзлоты обеспечивает положительную обратную связь, но существует *низкая степень достоверности* количественных проекций ее силы. {6.4.7}

Обратные связи аэрозоль-климат происходят главным образом вследствие изменений силы источника природных аэрозолей или изменений эффективности стоков естественных и антропогенных аэрозолей; в ограниченном количестве исследований моделирования проведена оценка величины этой обратной связи, которая оказалась слабой (*низкая степень достоверности*). Существует *средняя степень достоверности* слабой обратной связи (неопределенного знака) между диметилсульфидом, ядрами конденсации облаков и альbedo облаков вследствие слабой чувствительности скопления ядер конденсации облаков к изменениям выбросов диметилсульфида. {7.3.5}

ТР.3.8 Метрические показатели выбросов

Различные метрические показатели могут использоваться для количественного определения относительного и абсолютного вклада выбросов различных веществ и выбросов из регионов/стран или источников/секторов в изменение климата и представления информации о них. Вплоть до ДО4 самым общим метрическим показателем был потенциал глобального потепления (ПГП), который интегрирует РВ до конкретного временного горизонта. Этот метрический показатель таким образом учитывает радиационную эффективность различных веществ, а также время их жизни в атмосфере, и дает значения относительно значений эталонного газа CO₂. В настоящее время повышается значение потенциала

изменения глобальной температуры (ПИГТ), который основан на изменении СГПТ в выбранный момент времени, и также по отношению к изменению, вызванному эталонным газом CO₂, и таким образом учитывает реакцию климата наряду с радиационной эффективностью и сроком жизни в атмосфере. Как ПГП, так и ПИГТ используют временной горизонт (верхняя часть рисунка ТР.8), выбор которого субъективен и зависит от контекста. В целом, ПГП для краткосрочных факторов воздействия на климат выше, чем их ПИГТ вследствие того, что при расчете их суммарного воздействия для ПГП используются одинаковые веса для рассмотренных временных интервалов. Следовательно, выбор метрического показателя может значительно влиять на относительную важность краткосрочных факторов воздействия на климат и ХППГ, также как и выбор временного горизонта. Анализ воздействия текущих выбросов (однолетний выброс) показывает, что краткосрочные факторы воздействия на климат, такие как черный углерод, диоксид серы или CH₄, могут обеспечивать вклад, сравнимый с вкладом CO₂ для коротких временных горизонтов (того же или противоположного знака), но их воздействия постепенно становятся слабее для более длительных временных горизонтов, в которые доминируют выбросы CO₂ (верхняя часть рисунка ТР.8). {8.7}

Большое количество других метрических показателей может быть определено для цепочки фактор-реакция-воздействие. Ни один метрический показатель не позволяет точно сравнивать все последствия (т.е., реакции климатических параметров во времени) различных выбросов, и метрический показатель, который устанавливает эквивалентность в отношении одного эффекта, не обеспечивают эквивалентность в отношении других эффектов. Поэтому выбор метрических показателей значительно зависит от конкретных последствий, которые мы хотим оценить. Важно отметить, что метрические показатели не определяют политику или цели, но содействуют анализу и осуществлению многокомпонентной политики для достижения конкретных целей. Любой выбор метрических показателей содержит косвенные оценочные суждения, например, относительно типа рассматриваемого эффекта и взвешивания эффектов во времени. В то время как ПГП интегрирует эффекты до выбранного временного горизонта (т.е., придавая равный вес всем временным периодам до этого горизонта и нулевой вес после него), ПИГТ дает температуру только для одного выбранного года, без веса в предшествующие и последующие годы. {8.7}

ПГП и ПИГТ имеют ограничения и противоречия, относящихся к рассмотрению косвенных эффектов и обратных связей, например, если обратные связи климат-углерод включены для эталонного газа CO₂, но не для других газов, не являющихся CO₂. Неопределенность ПГП повышается с временным горизонтом, и для 100-летнего ПГП ХППГ неопределенность может достигать до ±40%. Результаты нескольких исследований показывают, что эти метрические показатели не совсем хорошо подходят для программ с максимальной температурной целью. Неопределенности ПИГТ также увеличиваются со временем, поскольку они обусловлены теми же факторами, которые вносят вклад в неопределенности ПГП, наряду с дополнительным вкладом в случае дальнейшего нисходящего движения по цепочке «движущий фактор-реакция-последствие» и учета реакции климата. Метрические показатели ПИГТ лучше подходят для целевых программ, но также не подходят для каждой цели. В настоящее время имеются обновленные метрические параметры, учитывающие изменения в знании о времени жизни и радиационной эффективности, а также обратные связи климат-углерод. {8.7, таблица 8.7, таблица 8.A.1, таблица 8. SM.16 главы 8 Дополнительного материала}

С помощью этих метрических показателей выбросов можно оценить климатические последствия прошлых или текущих выбросов, относящихся к различным видам деятельности. Такой основанный на различных видах деятельности учет может обеспечить дополнительную имеющую отношение к политике информацию, поскольку эти виды деятельности подвержены более прямому влиянию конкретных сделанных обществом выборов, чем общие выбросы. Объем выбросов за один год (выброс) часто используется для количественного определения воздействия на будущий климат. Если исходить из этой точки зрения и использовать абсолютный метрический показатель ПИГТ для иллюстрации результатов, то энергетика и промышленность вносят наибольший вклад в потепление в последующие 50-100 лет (рисунок ТР.8, нижняя часть). Выбросы в результате использования ископаемого топлива домашними хозяйствами и использования биотоплива, сжигания биомассы и дорожных

перевозок, также вносят значительный вклад в потепление в этих временных масштабах, при этом происходящие сейчас выбросы секторами, на которые приходится большая объемы CH₄ (животноводство, мусорные свалки и сельское хозяйство) также важны для более коротких временных горизонтов (примерно до 20 лет). Другой полезной перспективой является анализ эффекта устойчивых выбросов в настоящее время. Поскольку выброшенные частицы удаляются в соответствии со временем их пребывания в среде, количество короткоживущих компонентов остается почти постоянным, а долгоживущие газы аккумулируются в данном анализе. В обоих случаях, сектора, которые оказывают самое сильное

долгосрочное влияние на потепление (энергетика и промышленность), будут содействовать охлаждению в ближайшей перспективе (преимущественно за счет выбросов SO₂), и таким образом выбросы из этих секторов могут вести к обратной реакции средней глобальной температуры в краткосрочных и долгосрочных временных масштабах. Относительная важность других секторов зависит от выбранных времени и перспективы. Как и в случае с РВ или ЭРВ, неопределенности воздействия аэрозолей значительны, и в частности, возможности объяснения взаимодействия аэрозоль-облака влиянием отдельных компонентов весьма ограничены. {8.7; рисунки 8.SM.9, 8.SM.10 главы 8 Дополнительного материала}

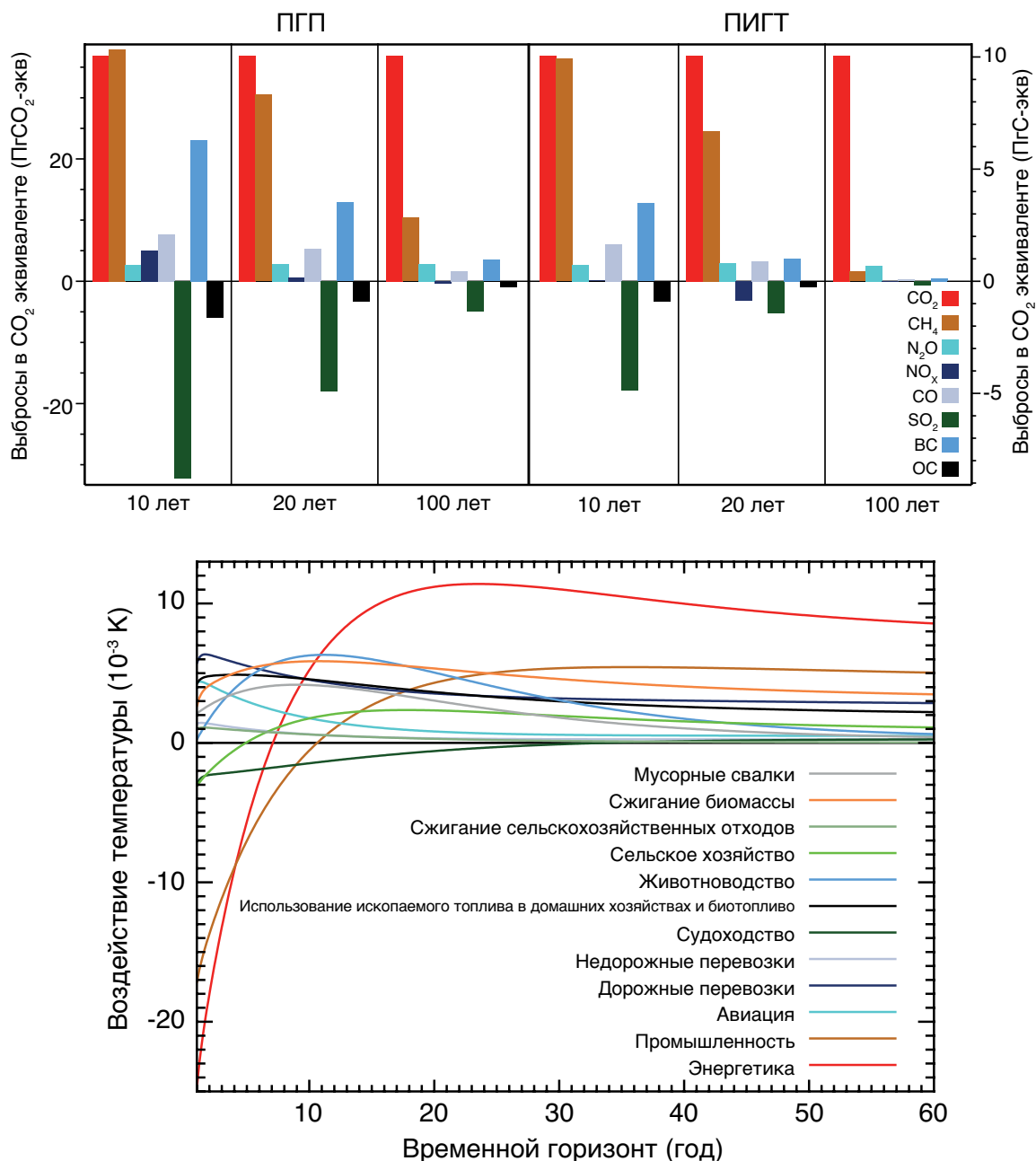


Рисунок TP.8 | (Верхняя часть) Глобальные антропогенные текущие выбросы, взвешенные по потенциалу глобального потепления (ПГП) и потенциалу глобального изменения температуры (ПГИТ) для выбранных временных горизонтов. Выбросы 2008 года (выброс за один год), взвешенные по ПГП, который является глобальным средним радиационным воздействием (РВ) на единицу выброшенной массы, интегрированной за указанное количество лет относительно воздействия выбросов CO₂, и ПГИТ, который оценивает влияние средней глобальной температуры на основе временной эволюции как РВ, так и реакции климата в расчете на единицу выброшенной массы по отношению к воздействию выбросов CO₂. Единицы являются «CO₂ эквивалентами», что отражает тождество только в параметре воздействия выбранного метрического показателя РВ, интегрированное за выбранный временной горизонт для ПГП; изменение температуры в выбранный момент времени для ПГИТ, представленного как Pg(CO₂)экв (левая ось) и PgСэкв (правая ось). (нижняя часть) Абсолютный ПГИТ (АПИГТ) как функция времени, умноженный на текущие выбросы всех компонентов из указанных секторов, используется для оценки реакции средней глобальной температуры (АПИГТ такой же как ПГИТ, за исключением того, что он не нормализован по воздействию выбросов CO₂). Имеет место небольшое изменение относительных значений для секторов за временной горизонт 60 – 100 лет. Эффекты взаимодействий между аэрозолем и облаками и перистая облачность, образованная конденсационными следами, не включены в верхнюю часть рисунка. {Рисунки 8.32, 8.33}

TP

ТР.4 Понимание климатической системы и ее недавних изменений

ТР.4.1 Введение

Понимание климатической системы основывается на сочетании наблюдений, теоретических исследований процессов обратных связей и имитационного моделирования. Более подробные, по сравнению с Д04, наблюдения и усовершенствованные климатические модели (см. вставку ТР.4) позволяют в настоящее время объяснять обнаруженные изменения антропогенным влиянием на большее число компонентов климатической системы. Согласованность наблюдаемых и смоделированных изменений в климатической системе, включая региональные температуры, водный цикл, глобальный энергетический бюджет, криосферу и океаны (в том числе закисление океана), указывает на то, что изменение глобального климата происходит преимущественно вследствие антропогенных повышений концентраций ХППГ. {10}

ТР.4.2 Приземная температура

Несколько передовых разработок после Д04 позволили сделать более четкую количественную оценку влияния человека на изменения приземной температуры. Неопределенность данных наблюдений изучалась гораздо более полно, чем ранее, и оценка в настоящее время учитывает данные наблюдений с первого десятилетия XXI века и имитационного моделирования с использованием климатических моделей нового поколения, возможности которых в отношении имитации исторического климата улучшились по многим аспектам по отношению к моделям предыдущего поколения, рассмотренным в Д04. Наблюдаемые в недавние годы аномалии СГПТ относительно периода 1880-1919 гг. лежат далеко за пределами диапазона аномалий СГПТ, полученных при имитационном моделировании в рамках СМIP5 с учетом только естественного воздействия, но согласуются с ансамблевым моделированием СМIP5 с учетом как антропогенного, так и естественного воздействия (рисунок ТР.9) даже несмотря на то, что некоторые отдельные модели переоценивают тренд потепления, в то время как другие недооценивают его. Имитационное моделирование с учетом только изменений ХППГ без каких-либо изменений аэрозолей, обычно показывают более сильное потепление, чем то, которое наблюдалось (рисунок ТР.9). Наблюдаемые температурные тренды за период 1951-2010 гг., которые характеризуются потеплением на большей части земного шара, с наиболее интенсивным потеплением над континентами СП, в большинстве наблюдаемых мест согласуются с трендами температуры имитационного моделирования СМIP5, включающего антропогенные и естественные воздействия, и не согласуются с температурными трендами имитационного моделирования СМIP5, включающего только естественные воздействия. В ходе ряда исследований изучались эффекты Атлантической мультideкадной осцилляции (АМО), оказываемые на СГПТ. Несмотря на то, что в некоторых работах отмечена значительная роль АМО в инициировании мультideкадной изменчивости СГПТ, АМО демонстрировала незначительный тренд за период 1951-2010 гг., на котором основываются текущие оценки, и по оценкам с *высокой степенью достоверности* АМО внесла незначительный вклад в тренд СГПТ между 1951 и 2010 гг. (значительно меньше 0,1°C). {2.4, 9.8.1, 10.3; ЧЗВ 9.1}

Исключительно вероятно, что деятельность человека стала причиной более половины случаев наблюдаемого повышения средней глобальной приземной температуры в 1951-2010 гг. Эта оценка поддержана четкими доказательствами, полученными в результате множества исследований с использованием различных методов. В частности, тренд температуры, объясняемый совокупностью всех антропогенных воздействий на климат, может быть более четко ограничен с помощью анализов многосигнального обнаружения и установления причин. Неопределенности в отношении воздействий, и ответных реакций климатических моделей на эти воздействия, наряду со сложностью проведения различия между режимами температурной реакции на ХППГ и другие антропогенные воздействия, не позволяют точно осуществить количественное определение изменений температуры,

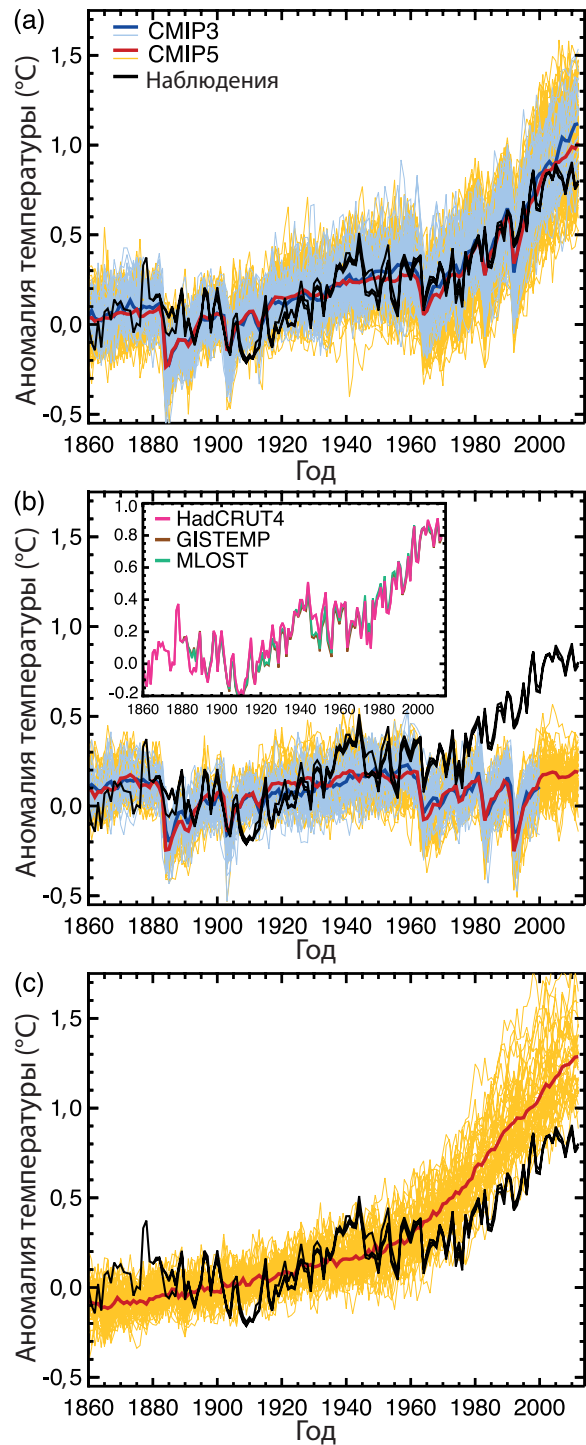


Рисунок ТР.9 | Три оценки наблюдений средней глобальной приземной температуры (черные линии) на основе четвертой версии массива данных о приземной температуре в узлах сетки Отдела исследований климата Центра Хэдли Метеорологического бюро Великобритании (HadCRUT4), анализа приземной температуры Института космических исследований Годдарда (GISTEMP) и совокупного анализа приземной температуры – температуры поверхности океана (MLOST), по сравнению с имитационными моделированиями (модели СМIP3 — тонкие синие линии и модели СМIP5 — тонкие желтые линии) с учетом антропогенных и естественных воздействий (а), только естественных воздействий (б), и только воздействия парниковых газов (с). Толстыми красными и синими линиями показаны средние значения всех имеющихся имитационных моделирований СМIP5 и СМIP3 соответственно. Все смоделированные данные и данные наблюдений были скрыты при использовании HadCRUT4 (поскольку этот набор данных имеет наиболее ограниченный пространственный охват), а глобальные средние аномалии показаны в отношении периода 1880-1919 гг., где все данные впервые рассчитаны как аномалии по отношению к периоду 1961-1990 в каждом узле сетки. Вставка в (б) показывает три набора данных наблюдений, выделенных разными цветами. {Рисунок 10.1}

Вставка TP.3 | Климатические модели и прекращение повышения средней глобальной приземной температуры в последние 15 лет

Наблюдения за СГПТ показали гораздо меньшее повышение линейного тренда за последние 15 лет, чем за последние 30 - 60 лет (вставка TP.3, рисунок 1а, с). В зависимости от набора данных наблюдений тренд СГПТ за период 1998-2012 гг. по оценкам представляет примерно от трети до половины тренда за период 1951-2012 гг. Например, в HadCRUT4 тренд составляет 0,04°C за десятилетие в период 1998-2012 гг., по сравнению со значением 0,11°C за десятилетие в период 1951-2012 гг. Ослабление наблюдаемого тренда СГПТ наиболее очевидно зимой в СП. Даже с этим «прекращением» тренда СГПТ десятилетие 2000-х было наиболее теплым согласно инструментальным наблюдениям СГПТ. Тем не менее, явление прекращения тренда СГПТ за последние 15 лет поднимает два связанных с ним вопроса - что было его причиной и могут ли климатические модели его воспроизвести. {2.4.3, 9.4.1; вставка 9.2; таблица 2.7}

Периоды прекращения тренда продолжительностью в пятнадцать лет фигурируют как в наблюдаемых временных рядах СГПТ, так и в исторических временных рядах СГПТ, полученных благодаря CMIP5. Однако анализ полного набора данных исторических имитационных моделирований, выполненных в рамках CMIP5 (с добавлением для периода 2006-2012 гг. данных имитационного моделирования РТК4.5), показывает, что в 111 из 114 реализаций тренд СГПТ за период 1998-2012 гг. выше, чем весь ансамбль трендов HadCRUT4 (вставка TP.3, рисунок 1а; средний тренд по ансамблю CMIP5 составляет 0,21°C за десятилетие). Эта разница между моделируемыми и наблюдаемыми трендами может быть вызвана некоторой комбинацией (а) внутренней изменчивости климата, (б) неучтенного или некорректного РВ, и (с) ошибок ответных реакций моделей. Эти потенциальные источники различий, которые не являются взаимоисключающими, оценены ниже, как и причина прекращения наблюдаемого тренда СГПТ. {2.4.3, 9.3.2, 9.4.1; вставка 9.2}

Внутренняя изменчивость климата

Периоды прекращения от 10 до 15 лет могут возникнуть в результате проявления внутренней декадной изменчивости климата, которая иногда усиливает и иногда нейтрализует долгосрочные тренды, которые испытывают внешнее влияние. Внутренняя изменчивость таким образом уменьшает соответствие трендов долгосрочного изменения климата за такие короткие периоды, как 10 - 15 лет. Более того, не ожидается, что время внутренней декадной изменчивости климата будет соответствовать историческим данным имитационного моделирования CMIP5 в связи с тем, что временные горизонты предсказуемости составляют не более 10 - 20 лет (имитационные моделирования исторических данных в рамках CMIP5 начинаются обычно для приблизительно 1850 г. с контрольного прогона). Однако, климатические модели демонстрируют отдельные десятилетия прекращения трендов СГПТ даже в течение более длительной фазы поглощения энергии в климатической системе, и в этом случае энергетический бюджет будет сбалансирован повышением поглощения тепла подповерхностным слоем океана. {2.4.3, 9.3.2, 11.2.2; вставки 2.2, 9.2}

С учетом ограничений, связанных с отбором проб, существует неопределенность в отношении того, происходило ли ускорение темпов поглощения тепла подповерхностным слоем океана в последние 15 лет. Однако, *весьма вероятно*, что климатическая система, включая океан на глубине более 700 м, продолжала аккумулировать энергию в период 1998-2010 гг. В соответствии с этим накоплением энергии СГУМ продолжал повышаться в 1998-2012 со скоростью лишь немного или незначительно ниже, чем в 1993-2012 гг. Согласованность между наблюдаемым содержанием тепла и изменениями уровня моря приносит *высокую степень достоверности* в оценку непрерывной аккумуляции энергии океаном, которая в свою очередь согласуется с положительным радиационным дисбалансом климатической системы. Напротив, имеющиеся ограниченные данные свидетельствуют о том, что, если сравнивать период 2003-2010 гг. с периодом 1971-2010 гг., то видно, что прекращение тренда СГПТ сопровождалась замедлением темпов повышения содержания тепла в океане на глубине от 0 до 700 м. Существует низкая степень согласия в отношении данного замедления, поскольку три из пяти анализов показывают замедление темпов повышения, а другие два показывают, что процесс повышения является непрерывным. {3.2.3, 3.2.4, 3.7, 8.5.1, 13.3; вставки 3.1, 13.1}

В течение 15-летнего периода, начавшегося в 1998 г., ансамбль трендов СГПТ HadCRUT4 располагается ниже практически всех трендов, воспроизведенных с помощью моделей (вставка TP.3, рисунок 1а), в то время как в ходе 15-летнего периода, заканчивающегося в 1998 г., он располагается выше в 93 из 114 смоделированных трендов (вставка TP.3, рисунок 1б; средний тренд по ансамблю моделей HadCRUT4 составляет 0,26°C за десятилетие, а средний тренд по ансамблю моделей CMIP5 0,16°C за десятилетие). За 62-летний период 1951-2012 гг., наблюдаемый и средний тренд по ансамблю моделей CMIP5 согласуются в пределах 0,02°C за десятилетие (вставка TP.3, рисунок 1с; средний тренд по ансамблю моделей CMIP5 составляет 0,13°C за десятилетие). Существует таким образом *весьма высокая степень достоверности* того, что модели CMIP5 показывают долгосрочные тренды СГПТ, согласующиеся с данными наблюдений, несмотря на несогласованность наиболее недавнего 15-летнего периода. Благодаря внутренней изменчивости климата в любом из данных 15-летних периодов наблюдаемый тренд СГПТ иногда располагается вблизи одного конца ансамбля моделей - эффект, который четко отмечен во вставке TP.3, рисунок 1а, б, поскольку на СГПТ оказывало влияние очень сильное явление Эль-Ниньо в 1998 г. {Вставка 9.2}

В отличие от имитационных моделирований исторических данных в рамках CMIP5, о которых говорится выше, некоторые предсказания CMIP5 были инициализированы на основе наблюдаемого состояния климата в конце 1990-х годов и в начале XXI века. Имеется среднее количество доказательств того, что эти инициализированные предсказания показывают СГПТ ниже примерно на 0,05-0,1°C по сравнению с историческими данными (неинициализированного) имитационного моделирования и поддерживают эту более низкую СГПТ в течение первых нескольких лет имитационного моделирования. В некоторых инициализированных моделях эта более низкая СГПТ появляется, отчасти, поскольку они корректно имитируют произошедший приблизительно в 2000 г. сдвиг с положительной на отрицательную фазу Тихоокеанского внутривекового колебания (ТВК). Однако, улучшение отражения данной смены фаз ТВК при помощи инициализации не является универсальным в рамках всех предсказаний CMIP5. Более того, несмотря на то, что часть снижения СГПТ при помощи инициализации действительно является результатом инициализации в корректной фазе внутренней изменчивости, другая часть может являться результатом корректировки погрешности моделей, которая была вызвана некорректным прошлым воздействием или некорректной обратной реакцией модели на прошлое воздействие, особенно если это касается океана. Относительные величины этих эффектов в настоящее время неизвестны; более того, качество системы прогнозирования не может оцениваться на основе одного предсказания (здесь 10-летнее прогнозирование в рамках периода 1998-2012 гг.). В общем, существует *средняя степень достоверности* того, что инициализация ведет к имитационным моделированиям СГПТ в 1998-2012 гг., которые лучше согласуются с наблюдаемым прекращением тренда, чем неинициализированные имитационные моделирования исторических данных CMIP5, и что это прекращение является частью последствия внутренней изменчивости, которая является предсказуемой в многолетнем временном масштабе. {11.1, 11.2.3; вставки 2.5, 9.2, 11.1, 11.2}

(продолжение на следующей странице)

Вставка ТР.3 (продолжение)

Радиационное воздействие

В десятилетнем-внутривековом временном масштабе и при постоянно растущем ЭРВ, составляющая тренда СГПТ, обусловленная внешним воздействием, реагирует на тренд ЭРВ относительно быстро и почти линейно (*средняя степень достоверности*). Ожидаемый тренд СГПТ, обусловленный внешним воздействием, связан с трендом ЭРВ коэффициентом, который оценивался применительно к увеличению количества CO₂ на 1 % в год в ансамбле СМIP5, и составляет 2,0 [1,3 - 2,7] Вт м⁻² °C⁻¹ (90-процентный диапазон неопределенности). Таким образом, тренд ЭРВ может быть примерно преобразован в тренд вынужденного реагирования СГПТ, что позволит оценить насколько изменение трендов СГПТ, показанное на рисунке 1 вставки ТР.3, вызвано изменением тренда ЭРВ. {вставка 9.2}

Наилучшие оценки тренда ЭРВ в ОД5 для периода 1998-2011 гг. показывают значение 0,22 [0,10 - 0,34] Вт м⁻² за десятилетие (90-процентный диапазон неопределенности), что значительно ниже, чем тренд для периода 1984-1998 гг. (0,32 [0,22 - 0,42] Вт м⁻² за десятилетие; следует отметить, что в 1982 г. имело место сильное извержение вулкана и тренд для периода 1951-2011 гг. равен 0,31 [0,19 - 0,40] Вт м⁻² за десятилетие; вставка ТР.3, рисунок 1d-f; конец 2011 г. выбран, поскольку имеется более ограниченное количество данных по сравнению с СГПТ). Полученный в результате отклика на внешнее воздействие тренд СГПТ будет составлять примерно 0,12 [0,05 до 0,29] °C за десятилетие, 0,19 [0,09 - 0,39] °C за десятилетие, и 0,18 [0,08 - 0,37] °C за десятилетие для периодов 1998-2011 гг., 1984-1998 гг., и 1951-2011 гг. соответственно (диапазоны неопределенности допускают, что предел коэффициента перевода в тренд СГПТ и предел самого тренда ЭРВ независимы). Различие наилучших оценок тренда ЭРВ в ОД5 между периодом 1998-2011 гг. и 1951-2011 гг. таким образом может объяснить примерно половину (0,05 °C за десятилетие) наблюдаемого различия трендов СГПТ между этими периодами (0,06 - 0,08 °C за десятилетие, в зависимости от набора данных наблюдений). {8.5.2}

Ослабление тренда ЭРВ, согласно наилучшим оценкам ОД5, за период 1998-2011 гг. по сравнению с 1984-1998 гг. и 1951-2011 гг. объясняется главным образом понижением трендов естественных воздействий, а именно - 0,16 [от -0,27 до -0,06] Вт м⁻² за десятилетие в 1998-2011 гг. по сравнению с 0,01 [от -0,00 до +0,01] Вт м⁻² за десятилетие за период 1951-2011 гг. Солнечное воздействие изменилось с относительного максимума, наблюдавшегося в 2000 г., до относительного минимума в 2009 г., при этом разница между максимальным и минимальным значениями составила примерно 0,15 Вт м⁻², а линейный тренд для периода 1998-2011 гг. составил примерно -0,10 Вт м⁻² за десятилетие. Кроме того, ряд небольших вулканических извержений усилил наблюдаемое попадание аэрозолей в стратосферу после 2000 г., ведущее к дополнительному отрицательному линейному тренду ЭРВ, величина которого составила примерно -0,06 Вт м⁻² за десятилетие в период 1998-2011 гг. (вставка ТР.3, рисунок 1d, f). Напротив, оценки оптической толщины тропосферного аэрозоля, полученные на основе спутниковых данных, показывают наличие незначительной общей тенденции глобального среднего значения оптической толщины тропосферного аэрозоля за последние 10 лет, предполагающей небольшое изменение ЭРВ в связи с взаимодействием аэрозоля и радиации (*низкая степень достоверности из-за низкой степени достоверности самого тренда оптической толщины аэрозоля*). Более того, в связи с тем, что существует только *низкая степень достоверности* оценок ЭРВ в связи с взаимодействием аэрозоля и облаков, также существует *низкая степень достоверности* этого тренда для последних 15 лет. {2.2.3, 8.4.2, 8.5.1, 8.5.2, 10.3.1; вставка 10.2; таблица 8.5}

Для периодов 1984-1998 гг. и 1951-2011 гг. средний тренд ЭРВ по ансамблю моделей СМIP5 отклоняется от тренда ЭРВ, определенного согласно наилучшим оценкам в ОД5, только на 0,01 Вт м⁻² за десятилетие (вставка ТР.3, рисунок 1e, f). После 1998 г., однако, в моделях СМIP5 отсутствуют данные о роли некоторых факторов, способствовавших ослаблению тренда ЭРВ, таких как увеличение распыления аэрозолей в стратосфере после 2000 г. и необычно низкий солнечный минимум, наблюдавшийся в 2009 г. Тем не менее, для периода 1998-2011 гг. средний тренд ЭРВ по ансамблю моделей СМIP5 слабее тренда ЭРВ, определенного согласно наилучшим оценкам в ОД5, на 0,03 Вт м⁻² за десятилетие (вставка ТР.3, рисунок 1d). Кроме того, глобальная средняя оптическая толщина аэрозоля в моделях СМIP5 показывает небольшой тренд для периода 1998-2012 гг., согласующийся с данными наблюдений. Несмотря на то, что неопределенности воздействия значительны, не существует явных некорректных или пропущенных глобальных средних воздействий в моделях СМIP5 за последние 15 лет, которые могли бы объяснить различие между модельными расчетами и данными наблюдений во время прекращения потепления. {9.4.6}

Ошибка в реакции моделей

Несоответствие между смоделированными и наблюдаемыми трендами СГПТ в 1998-2012 гг. может объясняться частично тенденцией некоторых моделей СМIP5 имитировать более сильное потепление, чем наблюдаемое, в качестве отклика на повышение концентрации парниковых газов. Усредненные по ансамблю моделей, оцененных в разделе 10.3.1, наилучшие оценки ПГ и других антропогенных масштабирующих коэффициентов составляют значения меньше единицы (хотя и незначительно меньше, рисунок 10.4), что указывает на то, что в отношении смоделированных средних значений ПГ и других антропогенных реакций следует использовать даунскейлинг, чтобы наилучшим образом соответствовать данным наблюдений. Это заключение обеспечивает доказательство того, что некоторые модели СМIP5 в большей мере реагируют на ПГ и другие антропогенные факторы (в которых преобладают эффекты аэрозолей), чем реальный мир (*средняя степень достоверности*). Вследствие этого в главе 11 утверждается, что следует осуществить даунскейлинг порядка 10 % по ближнесрочным модельным проекциям повышения СГПТ. Этого даунскейлинга, однако, не достаточно для объяснения средней модельной переоценки тренда СГПТ за период прекращения потепления. {10.3.1, 11.3.6}

Другим возможным источником модельной ошибки является недостаточное представление водяного пара в верхних слоях атмосферы. Было сделано предположение относительно того, что уменьшение содержания стратосферного водяного пара после 2000 г. вызвало уменьшение нисходящей длинноволновой радиации и таким образом способствовало охлаждению поверхности, что, возможно, не учитывалось моделями. Однако, этот эффект здесь оценивается как небольшой, поскольку после 2005 г. наблюдалось восстановление содержания водяного пара в стратосфере. {2.2.2, 9.4.1; вставка 9.2}

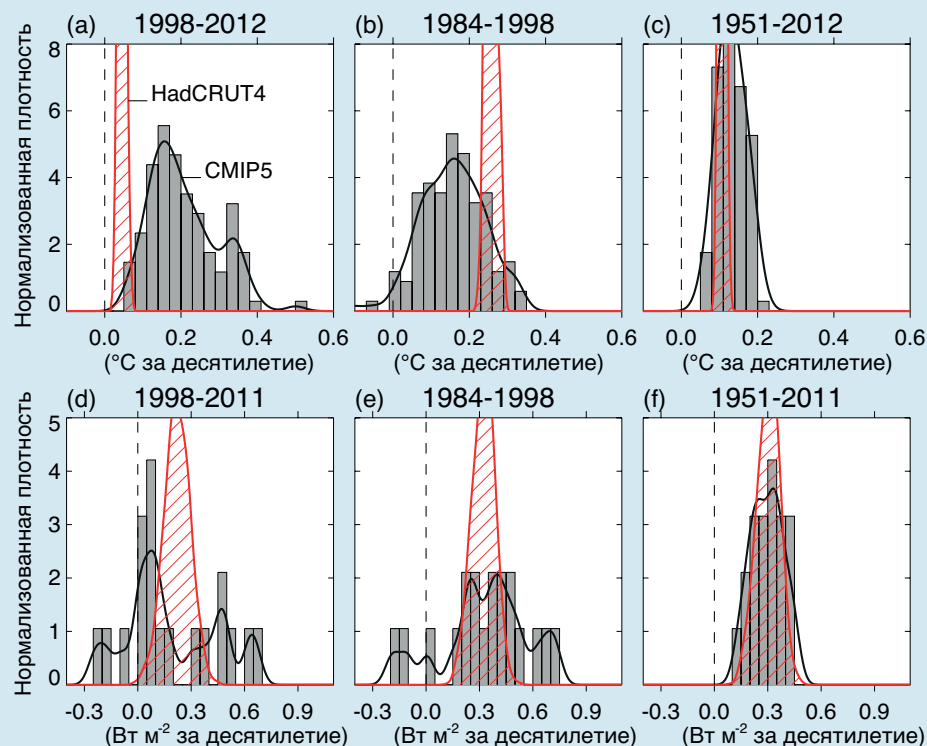
(продолжение на следующей странице)

Вставка ТР.3 (продолжение)

Подводя итог можно сказать, что наблюдаемое недавнее прекращение потепления, определенное как ослабление тренда СГПТ в 1998-2012 гг. по сравнению с трендом 1951-2012 гг., объясняется приблизительно в равной мере фактором охлаждения в результате внутренней изменчивости и ослаблением тренда внешнего воздействия (заключение экспертов, *средняя степень достоверности*). Ослабление тренда воздействия в первую очередь происходит как из-за отрицательного тренда воздействия вулканических извержений, так и нисходящей фазы солнечного цикла. Однако существует *низкая степень достоверности* количественного определения роли тренда воздействия как причины прекращения потепления, что объясняется неопределенностью величины тренда вулканического воздействия и *низкой степенью достоверности* тренда воздействия аэрозоля. {Вставка 9.2}

Практически ни одно из имитационных моделирования исторических данных в рамках СМIP5 не воспроизводит наблюдаемое сейчас прекращение потепления. Существует *средняя степень достоверности* того, что различие между трендами СГПТ, полученными на основе данных моделирования и данных наблюдений в 1998-2012 гг., в значительной степени вызвано внутренней изменчивостью, с возможным также его объяснением ошибкой в определении воздействия и некоторой переоценкой в моделях СМIP5 реакции на усиление воздействия ПГ. Тренд ЭРВ в моделях СМIP5 не показывает никакой явной погрешности относительно результатов наилучших оценок ОД5 для периода 1998-2012 гг. Однако *достоверность* этой оценки тренда ЭРВ СМIP5 является *низкой* преимущественно из-за неопределенностей моделирования воздействия аэрозолей и процессов, которые в связи с пространственной гетерогенностью могут вполне стать причиной необнаруженной ошибки глобального среднего тренда ЭРВ даже без учета при этом тренда глобального среднего распыления аэрозоля. {Вставка 9.2}

Причины как наблюдаемого прекращения тренда СГПТ, так и различия между трендами СГПТ, полученными на основе данных моделирования и данных наблюдений в период 1998-2012 гг., подразумевают, что если не произойдет крупного вулканического извержения, то большинство 15-летних трендов СГПТ в ближайшем будущем будут более значительными в 1998-2012 гг. (*высокая степень достоверности*; см. раздел 11.3.6 относительно полной оценки краткосрочных проекций СГПТ). Причин этого предположения четыре: во-первых, антропогенные концентрации ПГ, как ожидается, продолжат повышаться во всех сценариях РТК; во-вторых, концентрация антропогенного аэрозоля, как ожидается, понизится во всех сценариях РТК, также как и результирующий охлаждающий эффект; в-третьих, тренд солнечного воздействия, как ожидается, усилится в течение большинства ближайших 15-летних периодов по сравнению с 1998-2012 гг. (*средняя степень достоверности*), поскольку период 1998-2012 гг. охватил полную нисходящую фазу солнечного цикла; и в-четвертых, внутренняя климатическая изменчивость в ближайшей перспективе, *скорее вероятно, чем нет*, усилит повышение приземной температуры, которое, как ожидается, произойдет в результате большего антропогенного воздействия, и не будет противодействовать этому повышению. {Вставка 9.2}

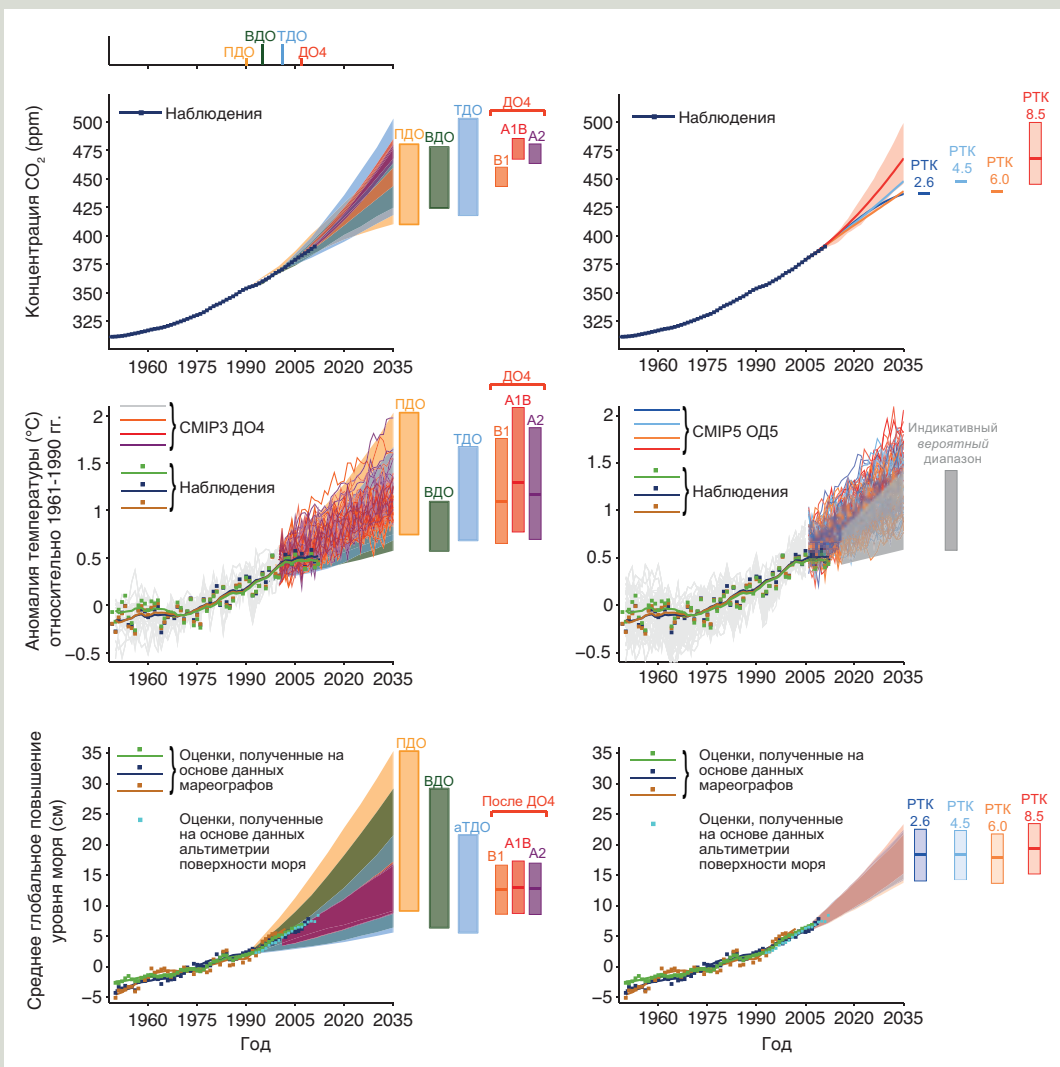


Вставка ТР.3, рисунок 1 | (Верхняя часть) Наблюдаемые и смоделированные тренды СГПТ в °C за десятилетие, за периоды 1998-2012 гг. (а), 1984-1998 гг. (b), и 1951-2012 гг. (с). В отношении наблюдений, показаны 100 прогонов по ансамблю четвертой версии набора данных о приземной температуре в ячейках сетки Отдела климатических исследований Центра Хэдли Метеорологического бюро Великобритании (HadCRUT4) (красный цвет, штриховка). Неопределенность, представленная шириной окна ансамбля, это неопределенность статистической конструкции только глобального среднего, в отличие от неопределенностей тренда, указанных в разделе 2.4.3, которые включают оценку внутренней изменчивости климата. В данном случае внутренняя изменчивость, напротив, характеризуется шириной окна модельного ансамбля. В отношении моделей, показаны все 114 доступных исторических реализаций СМIP5, расширенные на период после 2005 г. с использованием сценария РТК4.5,РТК и до 2012 г. (серый цвет, затененная область). (Нижняя часть) Тренды эффективного радиационного воздействия (ЭРВ, в Вт м⁻² за десятилетие) за периоды 1998-2011 гг. (d), 1984-1998 гг. (e), 1951-2011 гг. (f). На рисунке показаны наилучшие оценки трендов ЭРВ в Д05 (красным цветом, заштрихованные области) и ЭРВ СМIP5 (серым цветом, затененные области). Черные линии представляют сглаженные версии гистограмм. Каждая гистограмма нормирована таким образом, чтобы ее площадь по сумме была равна единице. {2.4.3, 8.5.2; вставка 9.2; рисунок 8.18; вставка 9.2, рисунок 1}

Фокусные элементы темы

ФЭТ | Сравнение проекций из предыдущих оценок МГЭИК с данными наблюдений

Верификация проекций, возможно, является наиболее убедительным путем повышения авторитета науки об изменении климата. Результаты проекций изменений диоксида углерода (CO₂), средней глобальной приземной температуры (СГПТ) и среднего глобального уровня моря (СГУМ) из предыдущих оценочных докладов МГЭИК количественно сравнимы с наилучшими доступными оценочными данными наблюдений. Сравнение предыдущих четырех докладов показывает эволюцию нашего понимания того, как климатическая система реагирует на изменение как естественного, так и антропогенного воздействия, и обеспечивает оценку того, как проекции соотносятся с оценочными данными наблюдений. Рисунок 1 ФЭТ.3, например, показывает проекции и оценочные данные наблюдений: (1) изменения CO₂ (верхний ряд), (2) аномалия СГПТ по отношению к периоду 1961-1990 гг. (средний ряд), и (3) СГУМ по отношению к периоду 1961-1990 гг. (нижний ряд). Результаты предыдущих оценочных докладов приведены в левой колонке, а полные результаты текущей оценки изложены в правой колонке. {2.4, 3.7, 6.3, 11.3, 13.3} (продолжение на следующей странице)



ФЭТ.3, рисунок 1 | (Верхняя часть слева) Наблюдаемые осредненные глобальные годовые концентрации CO₂ в частицах на миллион (ppm) с 1950 г. по сравнению с проекциями из предыдущих оценок МГЭИК. Наблюдаемые глобальные годовые концентрации CO₂ показаны темно-синим цветом. Затенение показывает наибольший модельный диапазон проекций глобальных годовых концентраций CO₂ с 1950 по 2035 гг. из ПДО (Первый доклад об оценке; рисунок А.3 в Резюме для политиков (РП) МГЭИК, 1990 г.), ВДО (Второй доклад об оценке; рисунок 5b в ТР МГЭИК, 1996 г.), ТДО (Третий доклад об оценке; приложение II, МГЭИК, 2001 г.), и для сценариев А2, А1В и В1 Специального доклада МГЭИК о сценариях выбросов (СДСВ), представленных в Д04 (Четвертый доклад об оценке; рисунок 10.26). Годы публикации докладов об оценке показаны. (Вверху справа) Те же наблюдаемые осредненные глобально концентрации CO₂ и проекции из этого доклада. Только RCP8.5 имеет диапазон значений, поскольку сценарии, обусловленные выбросами, были выполнены только для данной RTK. Для других RTK приведена наилучшая оценка. (Середина слева) Оценочные изменения наблюдаемой глобальной и ежегодно осредненной аномалии приземной температуры по отношению к периоду 1961-1990 гг. (в °C) с 1950 г. по сравнению с диапазоном проекций, приведенных в предыдущих оценках МГЭИК. Значения гармонизированы для того, чтобы начать с того же значения в 1990 г. Наблюдаемые средние глобальные температурные аномалии по отношению к периоду 1961-1990 гг. на основе трех наборов данных показаны квадратами, а сглаженные временные ряды сплошными линиями, с использованием четвертой версии данных о приземной температуре

ФЭТ.3 (продолжение)

в узлах сетки Отдела исследований климата Центра Хэдли (HadCRUT4; светло зеленый цвет), данных совокупного анализа приземной температуры – температуры поверхности океана (MLOST; светло горчичный цвет), и наборов данных анализа приземной температуры Института космических исследований Годдарда (GISTEMP; темно синий цвет). Цветное затенение показывает диапазон проекций изменения среднегодовой глобальной приземной температуры с 1990 по 2035 гг. для моделей, используемых в ПДО (рисунок 6.11), ВДО (рисунок 19 в ТР МГЭИК, 1996 г.) и ТДО (полный диапазон ТДО, рисунок 9.13(b)). Результаты ТДО основаны на анализах простых климатических моделей, представленных в данной оценке, а не отдельных полных трехмерных модельных расчетов климата. Результаты ДО4 представлены в виде одиночных прогнозов моделей ансамбля CMIP3 для исторического периода 1950 по 2000 гг. (светло серые линии) и для трех сценариев СДСВ (A2, A1B и B1) с 2001 по 2035 гг. Для трех сценариев СДСВ полосы показывают среднее значение по ансамблю CMIP3 и *вероятный* диапазон от -40 до +60% среднего значения в соответствии с оценками, приведенными в главе 10 ДО4. (Посредине справа) Проекция среднегодовой глобальной приземной температуры воздуха (СГПТ) для 1950-2035 г. (аномалии по отношению к периоду 1961-1990 гг.) по различным РТК моделей CMIP5 (светло-серые и цветные линии, один член ансамбля на модель), и оценки данных наблюдений такие же, что и на средней части рисунка слева. Закрашенная серым цветом область показывает индикативный *вероятный* диапазон для среднегодовых СГПТ в период 2016-2035 гг. для всех РТК (см. рисунок ТР.14 для более подробной информации). Серая полоса показывает тот же индикативный *вероятный* диапазон для 2035 г. (Внизу слева) Оценки изменений наблюдаемого повышения среднего глобального уровня моря (СГУМ) с 1950 г. Разные оценки изменений аномалий среднего глобального уровня моря на основе данных мареографов (темно-синий, светло горчичный, темно-зеленый цвета) и годовых осреднений альтиметрических данных (голубой цвет), начиная с 1993 г. (значения были скорректированы с тем, чтобы соответствовать значениям данных мареографов за 1993 г.). Квадраты показывают среднегодовые значения, непрерывные линии - сглаженные значения. Затенение показывает самый большой модельный диапазон проекций годового глобального повышения уровня моря с 1950 по 2035 гг. для ПДО (рисунки 9.6 и 9.7), ВДО (рисунок 21 в ТР МГЭИК, 1996), ТДО (приложение II МГЭИК, 2001 г.), и основано на результатах моделирования CMIP3, доступных во время использования сценария A1B СДСВ в ДО4. Следует отметить, что в ДО4 нет полного диапазона проекций уровня моря для этого периода. Поэтому рисунок показывает результаты, опубликованные после выхода ДО4. Полосы справа от каждого графика показывают полный диапазон для 2035 г. для каждого оценочного доклада. (Внизу справа) Та же оценка данных наблюдений, что и внизу слева. Полосы представляют вероятные диапазоны (*средняя степень достоверности*) для среднего глобального повышения уровня моря в 2035 г. по отношению к периоду 1961-1990 гг. на основе четырех РТК. Приложение 1.А содержит подробную информацию в отношении данных и расчетов, использованных для создания этих рисунков. См. главы 1, 11 и 13 для более подробной информации. {Рисунки 1.4, 1.5, 1.10, 11.9, 11.19, 11.25, 13.11}

Изменения диоксида углерода

С 1950 по 2011 гг. наблюдаемые концентрации атмосферного CO₂ устойчиво повышались. В период 1990-2011 гг. наблюдаемые изменения концентраций CO₂ лежат в пределах пакета сценариев, использованных в четырех докладах об оценке. Четвертый доклад МГЭИК об оценке (ДО4), являясь самой последней публикацией до текущего доклада (ФЭТ.3, рисунок 1; вверху слева), имеет самый узкий сценарный диапазон и наблюдаемая концентрация попадает в этот диапазон. Результаты Пятого оценочного доклада МГЭИК (ОД5) (ТБ.3, рисунок 1; вверху справа) согласуются с ДО4, и в 2002-2011 гг. интенсивность повышения атмосферных концентраций CO₂ составляла от 1,9 до 2,1 ppm год⁻¹. {2.2.1, 6.3; таблица 6.1}

Аномалия средней глобальной температуры

По отношению к среднему значению периода 1961-1990 гг. аномалия СГПТ была положительной и составляла более 0,25°C с 2001 г. Данные наблюдений, как правило, хорошо попадают в диапазон более ранних проекций МГЭИК (ТБ.3, рисунок 1, середина слева) Это также справедливо для результатов этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP5) (ТБ.3, рисунок 1; середина справа) в том смысле, что наблюдаемые ряды данных лежат в пределах диапазона модельных проекций, но на более низком конце шлейфа. Извержение вулкана Пинатубо произошло в 1991 г. (см. ЧЗВ 11.2, где обсуждается то, каким образом вулканы воздействуют на климатическую систему), и привело к короткому периоду относительного среднего глобального охлаждения в начале 1990-х годов. Первый, второй и третий доклады об оценке МГЭИК (ПДО, ВДР и ТДО) не включали эффекты извержений вулканов и, таким образом, не учитывали охлаждение, связанное с извержением Пинатубо. ДО4 и ОД5, однако, включали воздействия вулканов и успешно воспроизводят связанное с ними похолодание. В 1995-2000 гг. аномалия средней глобальной температуры была довольно изменчива, и в значительной мере эта изменчивость объяснялась масштабным явлением Эль-Ниньо в 1997-1998 гг. и мощным явлением Ла-Нинья, произошедшем сразу за ним в 1999-2001 гг. Проекция, относящаяся к этим оценочным докладам, не пытаются охватить актуальную эволюцию этих явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья, но включают их в качестве источника неопределенности, вызванной естественной изменчивостью, которая охвачена, например, диапазоном отдельных модельных расчетов и проекциями CMIP3 и CMIP5 (ФЭТ.3, рисунок 1). Серый клин на рисунке 1 ФЭТ.3, (середина справа) соответствует индикативному *вероятному* диапазону годовых температур, который определен на основе оценочных значений репрезентативных траекторий концентраций (РТК) для 20-летнего среднего значения периода 2016-2035 гг. (см. описание на рисунке ТР.14 и в разделе 11.3.6 для получения подробной информации). С 1998 по 2012 гг. оценки наблюдений большей частью находились в нижнем конце диапазона, полученного с учетом только сценариев, использованных в предыдущих оценочных докладах и проекциях CMIP3 и CMIP5. {2.4; вставка 9.2}

Средний глобальный уровень моря

Согласно как данным мареографов, так и спутниковой альтиметрии, СГУМ продолжал повышаться относительно уровня 1961-1990 гг. При том, что повышение довольно стабильно, оба ряда данных наблюдений показывают короткие периоды, в которых либо нет изменений, либо наблюдается небольшое понижение. Оценки наблюдений лежат в рамках пакета всех проекций за исключением, возможно, самого начала 1990-х годов. Неопределенность повышения уровня моря, связанная с неопределенностью сценариев, является самой незначительной для самых последних оценок (ДО4 и ОД5), при этом оценки данных наблюдений лежат именно в пределах обусловленной сценариями неопределенности. *Практически определено*, что в XX веке уровень моря повышался. Средние темпы повышения уровня моря составляли 1,7 мм год⁻¹ с *весьма вероятным* диапазоном от 1,5 до 1,9 между 1901 и 2010 гг., и эти темпы повысились до 3,2 с *вероятным* диапазоном от 2,8 до 3,6 мм год⁻¹ между 1993 и 2010 гг. (см. ФЭТ.2). {3.7.2, 3.7.4}

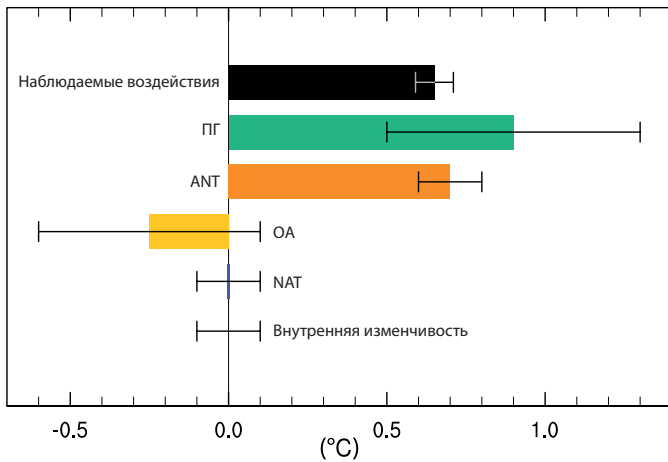


Рисунок TP.10 | Оценка вероятных диапазонов (тонкие линии) и их медиан (полосы) для трендов потепления за период 1951-2010 гг., связанных с хорошо перемешанными парниковыми газами (ПГ); антропогенными воздействиями (АНТ); антропогенными воздействиями, иными нежели воздействия хорошо перемешанных парниковых газов (ОА); естественными воздействиями (НАТ) и внутренней изменчивостью. Тренд наблюдаемых воздействий в четвертой версии данных о приземной температуре в узлах сетки Отдела климатических исследований Центра Хэдли (HadCRUT4) показан черным цветом вместе с его 5–95-процентной областью неопределенности, вызванной только неопределенностью данных наблюдений в этой записи данных. (Рисунок 10.5)

вызванных ХППГ и другими антропогенными воздействиями отдельно друг от друга. Согласно оценкам, соответствующим данным ДО4, более половины наблюдаемого повышения средней глобальной приземной температуры с 1951 по 2010 гг., *весьма вероятно, вызвано* наблюдаемым антропогенным повышением концентраций ХППГ. ХППГ внесли вклад в повышение средней глобальной приземной температуры, *вероятно*, в пределах от 0,5°C до 1,3°C за период между 1951 и 2010 гг., при этом вклад других антропогенных воздействий, *вероятно*, был в пределах между -0,6°C и 0,1°C, и естественных воздействий, *вероятно*, в пределах от -0,1°C до 0,1°C. Этот суммарный оцениваемый вклад согласуется с наблюдаемым потеплением примерно на 0,6°C за данный период (рисунок TP.10). {10.3}

Солнечное воздействие является единственным известным естественным воздействием, которое содействовало потеплению климата за период 1951-2010 гг., но его усиление было гораздо меньше, чем воздействия ХППГ, и наблюдаемый режим долгосрочного тропосферного потепления и стратосферного охлаждения не согласуется с ожидаемой реакцией на вариации солнечного излучения. Учитывая это доказательство вместе с оценкой вклада естественных воздействий на наблюдаемые тренды за этот период, *исключительно маловероятно*, согласно оценкам, что вклад солнечного воздействия в наблюдаемое глобальное потепление с 1951 г. будет больше, чем вклад ХППГ. Благодаря тому, что солнечное воздействие, *весьма вероятно*, уменьшилось за период прямых спутниковых измерений вклада суммарной солнечной радиации с 1986 по 2008 гг., существует *высокая степень достоверности* того, что изменения общего потока солнечного излучения не внесли вклад в глобальное потепление в ходе этого периода. Однако, существует *средняя степень достоверности* того, что 11-летний цикл солнечной изменчивости влияет на десятилетние климатические флуктуации в некоторых регионах через усиливающие их механизмы. {8.4, 10.3; вставка 10.2}

Наблюдаемое потепление за последние 60 лет находится далеко за пределами диапазона внутренней изменчивости климата, оценка которой осуществлена на основе доинструментальных данных, и также далеко за пределами диапазона внутренней изменчивости, воспроизведенной в климатических моделях. Модельные расчеты внутренней изменчивости оцениваются как адекватные для данного оценочного заключения. Кроме того, пространственная структура наблюдаемого потепления

отличается от структур, связанных с внутренней изменчивостью. С учетом данного доказательства, вклад внутренней изменчивости в тренд СГПТ в 1951-2010 гг. составлял, согласно оценкам, *вероятно*, от -0,1°C до 0,1°C, и *практически определено*, что потепление после 1951 г. не может быть объяснено только внутренней изменчивостью. {9.5, 10.3, 10.7}

Данные инструментальных наблюдений показывают устойчивое потепление в первой половине XX века. В соответствии с ДО4 имеются оценки, согласно которым потепление в начале XX века, *весьма маловероятно*, произошло только благодаря внутренней изменчивости. Количественное определение вклада внутренней изменчивости, естественного и антропогенного воздействия на это потепление, произошедшее в начале века, является сложной задачей в связи с неопределенностями воздействия и ответной реакции, а также недостаточной полнотой охвата данными наблюдений. {10.3}

TP.4.3 Температура атмосферы

В ряде исследований, проведенных после публикации ДО4, было рассмотрено соответствие трендов согласно модельным расчетам и наблюдаемых трендов температуры свободной тропосферы (см. раздел TP.2). В большинстве из них, хотя и не во всех, модели CMIP3 и CMIP5 переоценивают наблюдаемый тренд потепления в тропической тропосфере в период спутниковых наблюдений 1979-2012 гг. По грубой оценке, от половины до двух третей этого различия наблюдаемых трендов связано с переоценкой тренда ТПМ, который движется вверх в связи с тем, что модели пытаются поддерживать статическую устойчивость. Однако, существует *низкая степень достоверности* этих оценок вследствие *низкой степени достоверности* темпов наблюдаемых тропосферных тропических трендов, а также вертикальной структуры. Вне тропиков, и за период наблюдений с использованием радиозондов, который начался в 1961 г., несоответствие между трендами согласно модельным расчетам и наблюдаемыми трендами меньше. {2.4.4, 9.4, 10.3}

Анализ наборов данных, полученных как с использованием радиозондов, так и спутников, в комбинации с модельными расчетами CMIP5 и CMIP3, по-прежнему приводит к выводу о том, что наблюдаемое тропосферное потепление невозможно объяснить только лишь внутренней изменчивостью и данными модельных расчетов отклика на естественные воздействия. За период 1961-2010 гг. модели CMIP5 воспроизводят тропосферное потепление, обусловленное изменениями ХППГ, с только незначительным компенсирующим охлаждением, происходящим в результате комбинированных воздействий изменений в отражающих и поглощающих аэрозолях и тропосферном озоне. Принимая во внимание это свидетельство вместе с результатами анализов обнаружения и установления причин многих сигналов, *вероятно*, что антропогенные воздействия, в которых преобладают ХППГ, внесли вклад в потепление тропосферы с 1961 г. Неопределенности в рядах данных наблюдений с использованием радиозондов и спутников позволяют оценить причины наблюдаемых трендов в верхней тропосфере менее уверенно, чем общие изменения температуры атмосферы. {2.4.4, 9.4, 10.3}

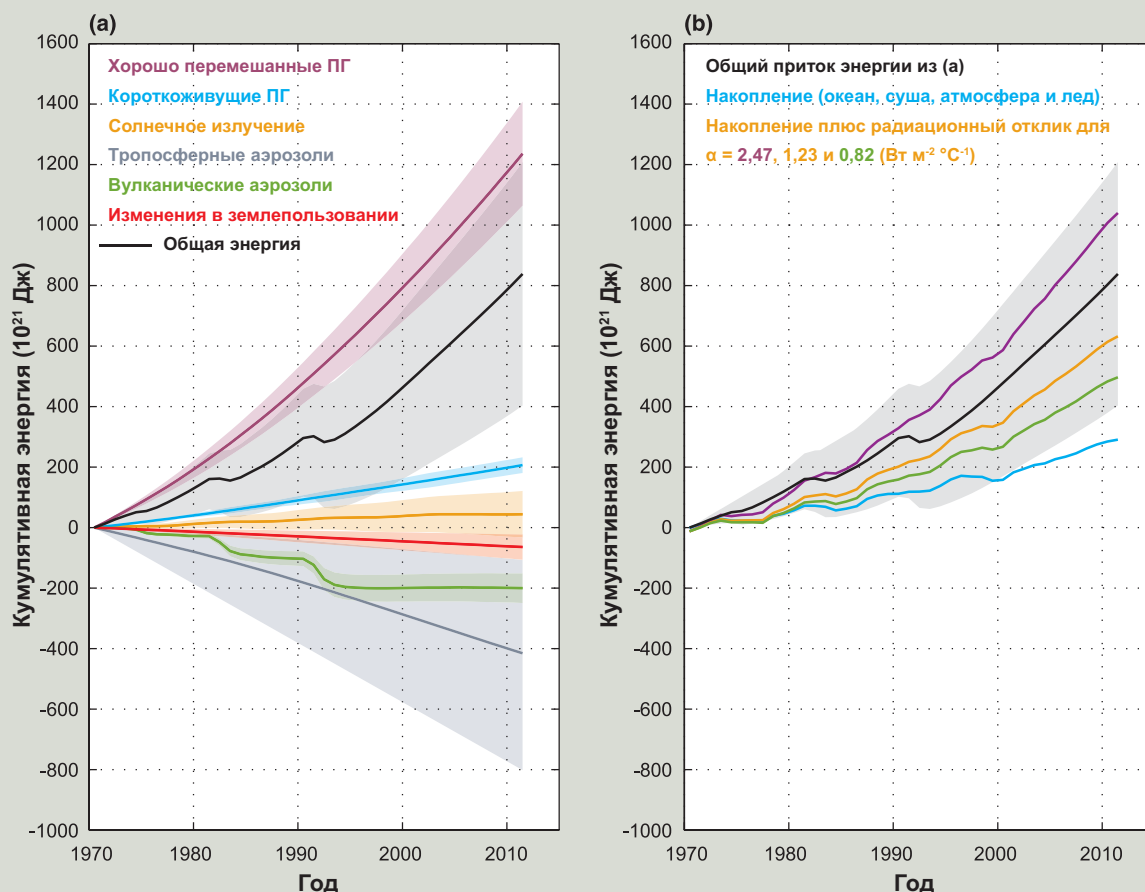
Модельные расчеты CMIP5, включая ХППГ, озон и изменения природных воздействий, широко воспроизводят наблюдаемую эволюцию температуры нижней стратосферы, при этом есть некоторая тенденция недооценки наблюдаемого тренда похолодания за период спутниковых наблюдений (см. раздел TP.2). Новые исследования стратосферной температуры, изучающие отклик на естественные воздействия, ХППГ и озоноразрушающие вещества, показывают, что антропогенные воздействия, среди которых преобладало истощение озонового слоя в результате воздействия озоноразрушающих веществ, внесли, *весьма вероятно*, вклад в охлаждение нижних слоев стратосферы с 1979 г. Модели CMIP5 воспроизводят лишь весьма незначительное охлаждение нижней стратосферы как отклик на исторические изменения ХППГ, и влияние ХППГ на температуру нижних слоев стратосферы формально не было выявлено. При рассмотрении обеих областей совместно *весьма вероятно*, что антропогенное воздействие, в частности ХППГ и истощение слоя стратосферного озона, привело к выявляемому наблюдаемому режиму потепления тропосферы и охлаждения нижней стратосферы с 1961 г. {2.4, 9.4, 10.3}

Фокусные элементы темы

ФЭТ.4 | Изменяющийся энергетический бюджет глобальной климатической системы

Глобальный энергетический бюджет является фундаментальным аспектом климатической системы Земли и зависит от многих явлений, происходящих внутри нее. Океан аккумулировал около 93% объема увеличения энергии в климатической системе за последние десятилетия, в результате чего произошло тепловое расширение океана и соответственно повышение уровня моря. Темпы накопления энергии в системе Земля должны быть эквивалентны общему нисходящему радиационному потоку в верхних слоях атмосферы, который представляет собой разницу между эффективным радиационным воздействием (ЭРВ) в результате изменений, которым подвергается система, и радиационной реакцией системы. Также имеют место значительные переносы энергии между компонентами климатической системы и из одного места в другое. Основное внимание здесь уделяется глобальному энергетическому бюджету Земли с 1970 г., когда расширился глобальный охват данными наблюдений. {3.7, 9.4, 13.4; вставка 3.1}

ЭРВ климатической системы было положительным вследствие увеличения концентраций хорошо перемешанных (долгоживущих) парниковых газов (ПГ), изменений короткоживущих ПГ (тропосферный и стратосферный озон и стратосферный водяной пар) и усиления солнечного излучения (ФЭТ.4, рисунок 1а). Это частично было компенсировано отрицательным вкладом в ЭРВ климатической системы, вызванным изменениями тропосферного аэрозоля, который преимущественно отражает солнечный свет и еще больше усиливает яркость облаков, несмотря на то, что черный углерод является источником положительного воздействия. Мощные извержения вулканов (такие, как извержение Эль Чичон в Мексике в 1982 г. и Пинатубо на Филиппинах в 1991 г.)

(продолжение на следующей странице)

ФЭТ.4, рисунок 1 | Энергетический бюджет Земли с 1970 по 2011 гг. (а) Цветные линии показывают кумулятивный приток энергии в систему Земля в результате изменений в хорошо перемешанных и короткоживущих парниковых газах, солнечном воздействии, воздействии тропосферного аэрозоля, вулканическом воздействии, а также изменений в альbedo поверхности, связанных с изменениями в землепользовании (все по отношению к периоду 1860-1879 гг.); вклады этих воздействий добавлены с тем, чтобы показать полный приток энергии (черный цвет; вклады черного углерода на снегу и конденсационных следов, а также перистой облачности, вызванной конденсационными следами, включены, но не показаны отдельно). (б) Кумулятивный общий приток энергии из (а, черный цвет) сбалансирован суммарным поглощением энергии системой Земля (синий цвет; энергия, израсходованная на нагревание океана, атмосферы и суши, а также на таяние льда), и увеличением уходящей радиации в результате изменений средней глобальной приземной температуры. Сумма этих двух факторов приведена для параметра климатической обратной связи α в 2,47, 1,23 и 0,82 $\text{Вт м}^{-2} \text{°С}^{-1}$, соответствующего чувствительностью климата в равновесном состоянии, равной 1,5°C, 3,0°C и 4,5°C, соответственно; значения от 1,5°C до 4,5°C по оценкам являются, вероятно, диапазоном чувствительности климата в равновесном состоянии. Энергетический бюджет может быть закрыт для конкретного значения α , если соответствующая линия совпала с общим притоком энергии. Для ясности все показанные неопределенности (затенение) являются *вероятными* интервалами. {Вставка 12.2; вставка 13.1, рисунок 1}

ФЭТ.4 (продолжение)

могут выбрасывать диоксид серы в стратосферу, повышая таким образом содержание стратосферного аэрозоля, который сохраняется там на протяжении нескольких лет. Стратосферный аэрозоль отражает некоторую часть поступающей солнечной радиации и оказывает, соответственно, отрицательное воздействие. Изменения альbedo поверхности в результате изменений в землепользовании также привели к увеличению отражения коротковолновой радиации обратно в космос и, таким образом, отрицательному воздействию. С 1970 г. результирующее ЭРВ климатической системы повысилось, и приток энергии за данный период является комплексным последствием этих воздействий. (ФЭТ.4, рисунок 1а). {2.3, 8.5; вставка 13.1}

С потеплением климатической системы энергия уходит в космическое пространство вследствие увеличения исходящей радиации. Эта радиационная реакция системы происходит преимущественно в результате повышенной тепловой радиации, но она меняется из-за климатических обратных связей, таких как изменения состояния водяного пара, облаков и альbedo поверхности, которые влияют как на исходящую длинноволновую радиацию, так и отраженную коротковолновую радиацию. Потоки в верхних слоях атмосферы были измерены при помощи спутников в рамках эксперимента по изучению радиационного баланса Земли (ERBE) с 1985 по 1999 гг. и спутников Системы определения облачности и излучаемой энергии Земли (CERES) с марта 2000 г. до настоящего времени. Измерения потоков в верхних слоях атмосферы имеют высокую точность и позволяют определять изменение общего энергетического бюджета Земли от года к году в рамках программ ERBE и CERES, но абсолютная калибровка приборов недостаточно точна для того, чтобы позволить определить абсолютные энергетические потоки в верхней части атмосферы или обеспечить непрерывность наблюдений по линии этих программ. Рисунок 1b ФЭТ.4 соотносит изменение кумулятивной общей энергии системы Земля с изменением общего энергетического запаса и кумулятивной исходящей радиации. Вычисление последнего параметра основано на данных о наблюдаемой средней глобальной приземной температуры, умноженной на параметр климатической обратной связи α , который, в свою очередь, относится к чувствительности равновесного климата. Значение α в среднем диапазоне τ , а именно $1,23 \text{ Вт м}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, соответствует ЭРВ для удвоенной концентрации диоксида углерода (CO_2), равному $3,7 [2,96 \text{ до } 4,44] \text{ Вт м}^{-2}$ при значении чувствительности равновесного климата в $3,0^{\circ}\text{C}$. Параметр климатической обратной связи α , вероятно, будет находиться в пределах от $0,82$ до $2,47 \text{ Вт м}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (соответствующих вероятному диапазону чувствительности равновесного климата от $1,5^{\circ}\text{C}$ до $4,5^{\circ}\text{C}$). {9.7.1; вставка 12.2}

Если бы ЭРВ был зафиксирован, то климатическая система в конечном итоге потеплела в достаточной степени для того, чтобы радиационный отклик сбалансировал ЭРВ, и не было бы никакого дальнейшего изменения накопления энергии в климатической системе. Однако, воздействие повышается и значительный тепловой потенциал океана означает, что климатическая система не находится в состоянии радиационного равновесия и содержание энергии в ней повышается (ФЭТ.4, рисунок 1b). Это накопление обеспечивает четкое доказательство изменения климата. Большая часть этого дополнительного тепла содержится на глубине океана до 700 м, однако потепление также наблюдается на больших глубинах и в абиссальной зоне океана. Связанное с этим тепловое расширение океана внесло вклад в размере примерно 40% в наблюдаемое повышение уровня моря с 1970 г. Небольшое количество дополнительного тепла пошло на то, чтобы согреть континенты, согреть и растопить ледники и морской лед, а также согреть атмосферу. {13.4.2; вставки 3.1, 13.1}

В дополнение к этим вариациям энергетического бюджета Земли, обусловленным внешним воздействием, существует также внутренняя изменчивость в масштабах десятилетия. Наблюдения и модельные расчеты показывают, что в результате сравнительно малого теплового потенциала атмосферы десятилетие устойчивой или даже уменьшающейся приземной температуры может иметь место в условиях мирового потепления. Модельные расчеты климата показывают, что эти периоды связаны с переносом тепла (порядка $0,1 \text{ Вт м}^{-2}$) из верхнего слоя океана в более глубокие слои при практически устойчивом или возрастающем излучении радиации в космос также порядка $0,1 \text{ Вт м}^{-2}$. Несмотря на то, что эти естественные колебания связаны со значительным количеством тепла, они значительно меньше антропогенного воздействия на энергетический бюджет Земли, особенно в масштабах нескольких десятилетий или более длительных временных масштабах. {9.4; вставки 9.2, 13.1}

Имеющиеся независимые оценки ЭРВ, наблюдаемого накопления тепла и потепления поверхности в их комбинации дают энергетический бюджет Земли, который соответствует оценкам вероятного диапазона чувствительности равновесного климата в рамках оцененных неопределенностей (*высокая степень достоверности*). Количественная оценка составляющих энергетического бюджета Земли и верификация того, что эти составляющие находятся в равновесном состоянии в течение последних десятилетий, являются веским подтверждением нашего понимания антропогенного изменения климата. {Вставка 13.1}

ТР.4.4 Океаны

Наблюдаемое потепление верхних слоев океана в конце XX и в начале XXI веков и его причины были рассмотрены более полно после выхода Д04 с использованием для этого обновленных данных наблюдений и большего количества имитационных моделирований (см. раздел ТР.2.2). Долгосрочные

тренды и изменчивость данных наблюдений наиболее согласуются с данными модельных расчетов реакции как на антропогенное, так и вулканическое воздействие. Был также выявлен антропогенный след в наблюдаемом потеплении верхних слоев океана, суть которого заключалась в изменениях глобального среднего показателя и режима в масштабе бассейна. Этот результат является устойчивым для ряда неопределенностей данных

наблюдений, а также модельных и методологических или структурных неопределенностей. *Весьма вероятно*, что антропогенное воздействие внесло значительный вклад в потепление верхних слоев океана (до 700 м), наблюдаемое с 1970-х годов. Это антропогенное потепление океана внесло вклад в глобальное повышение уровня моря за этот период посредством теплого расширения. {3.2.2, 3.2.3, 3.7.2, 10.4.1, 10.4.3; вставка 3.1}

Наблюдаемые изменения поверхностной солености также говорят о том, что произошло изменение глобального водного цикла (см. ФЭТ.1). Долгосрочные тренды показывают, что имеет место сильная положительная корреляция между среднеклиматической поверхностной соленостью и временными изменениями поверхностной солености с 1950 до 2000 гг. Эта корреляция показывает усиление режима климатологической солености – то есть пресные области стали более пресными, а соленые более солеными. Самые сильные антропогенные сигналы наблюдаются в тропиках (от 30° ю.ш. до 30° с.ш.) и в западной части Тихого океана. Разница солености Тихого и Атлантического океанов также увеличилась в связи со значительным вкладом антропогенного воздействия. {3.3, 10.3.2, 10.4.2; ЧЗВ 3.2}

В глобальном масштабе изменения поверхностной и подповерхностной солености (1955–2004 гг.) в слое до 250 м водного столба не соответствуют изменениям, ожидаемым в результате естественной изменчивости, но соответствуют смоделированному распределению изменений, обусловленных внешним воздействием (ХППГ и тропосферные аэрозоли). Естественная внешняя изменчивость, полученная по данным модельных расчетов с использованием только вариаций солнечного и вулканического воздействия, совершенно не соответствует данным наблюдений, что, таким образом, исключает гипотезу о том, что наблюдаемые тренды могут объясняться только солнечными и вулканическими вариациями. Наличие этих доказательств и наше понимание физических процессов позволяют сделать вывод о том, что антропогенные воздействия, *весьма вероятно*, внесли видимый вклад в изменение поверхностной и подповерхностной солености с 1960-х годов. {10.4.2; таблица 10.1}

Кислород является важным физическим и биологическим трассером в океане. Глобальные анализы данных о кислороде, полученных с 1960-х по 1990-е годы, расширяют пространственный охват от локальных до глобальных масштабов и были использованы в исследованиях, посвященных установлению причин, с использованием результатов, полученных при помощи ограниченного числа моделей системы Земля (МСЗ). Был сделан вывод, что наблюдаемый глобальный режим сокращения содержания растворенного кислорода в океане со *средней степенью достоверности* может быть частично связан с влиянием деятельности человека. {3.8.3, 10.4.4; таблица 10.1}

Наблюдения показывают различающиеся тренды закисления океана (которое по наблюдениям лежит в пределах между -0,0014 и -0,0024 единицы рН в год). Существует *высокая степень достоверности* того, что рН поверхностного слоя океана уменьшился приблизительно на 0,1 с начала индустриальной эры как следствие поглощения антропогенного CO₂ океаном. {3.8.2, 10.4.4; вставка 3.2; таблица 10.1}

ТР.4.5 Криосфера

Сокращение площади морского льда в Арктике и площади снежного покрова СП, а также широко распространенное отступление ледников и увеличенное поверхностное таяние Гренландии – все это является доказательствами систематических изменений криосферы. Все эти изменения в криосфере были связаны с антропогенными воздействиями. {4.2.2, 4.4–4.6, 10.5.1, 10.5.3; таблица 10.1}

Исследования по установлению причин, в ходе которых данные наблюдений за сезонной эволюцией площади морского льда в Арктике, проводимых с 1950-х годов, сравнивались, с расчетами сопряженных моделей, показывают, что влияние деятельности человека на изменения площади морского льда может отчетливо просматриваться с начала 1990-х годов.

Антропогенный сигнал также определяется для отдельных месяцев с мая по декабрь и говорит о том, что влияние деятельности человека, которое является наиболее сильным в конце лета, сейчас также распространяется на более холодные сезоны. На основе этих модельных расчетов площади морского льда и данных о площади морского льда, полученных посредством инструментальных наблюдений, и с учетом высокой степени согласованности между результатами исследований, делается вывод о том, что антропогенные воздействия, *весьма вероятно*, внесли вклад в потерю массы арктического льда с 1979 г. (рисунок ТР.12). {10.5.1}

В отношении площади антарктического льда непродолжительность рядов данных наблюдений и различия смоделированной и наблюдаемой изменчивости мешают сделать оценки того, соответствует или нет повышение, наблюдаемое с 1979 г., внутренней изменчивости. Запутанные процессы, используемые для построения трендов, и изменчивость Антарктики и окружающих вод остаются сложными и несколько исследований являются противоречивыми. Подводя итоги можно сказать, что существует *низкая степень достоверности* научного понимания наблюдаемого с 1979 г. увеличения площади морского льда в Антарктике вследствие значительных различий между модельными расчетами морского льда с использованием моделей СМIP5 и неполных и конкурирующих научных объяснений причин изменений, а также *низкой степени достоверности* оценок естественной внутренней изменчивости. (рисунок ТР.12). {9.4.3, 10.5.1; таблица 10.1}

Недавно наблюдались значительные крупные эпизоды таяния ледяного щита Гренландии в ответ на рекордные температуры по отношению к значениям XX века, связанные с постоянными отклонениями атмосферной циркуляции начале лета, и эти отклонения стали более заметными с 2007 г. Несмотря на то, что многие ряды данных инструментальных наблюдений в Гренландии относительно короткие (двадцать лет), данные регионального моделирования и наблюдений говорят о последовательной реакции температуры и стока льда ледяного щита Гренландии на сдвиги региональной атмосферной циркуляции, связанные с режимами циркуляции атмосферы и повышением глобальной температуры более крупного масштаба. Потеря и таяние массы также происходят в Гренландии благодаря поступлению теплых вод в крупные фьорды, содержащие ледники, такие как ледник Якобшавн. *Вероятно*, что антропогенное воздействие отчасти было причиной поверхностного таяния Гренландского ледяного щита с 1993 г. {10.5.2; таблица 10.1}

Оценки масс льда в Антарктике с 2000 г. показывают самые большие потери по краям. Анализ наблюдений, проводимых под плавающим ледовым шельфом Западной Антарктики, позволяет сделать вывод о том, что потепление океана в этом регионе и повышенный перенос тепла циркуляцией океана в значительной степени являются причинами повышения темпов таяния. Ряды данных наблюдений за потерей антарктических масс коротки и внутренняя изменчивость ледового щита плохо изучена. Из-за низкого уровня научного понимания существует *низкая степень достоверности* объяснения причин наблюдаемой потери массы Антарктического ледового покрова с 1993 г. {3.2, 4.2, 4.4.3, 10.5.2}

Доказательства отступления ледников в результате потепления и изменения влажности в настоящее время являются более полными, чем во времена подготовки Д04. Благодаря наличию долгосрочных рядов данных о ледниках имеется *высокая степень достоверности* оценок наблюдаемой потери массы и оценок естественных колебаний и внутренней изменчивости. На основе этих факторов и нашего понимания реакции ледников на климатические факторы существует *высокая степень достоверности* того, что значительная часть потери массы ледников, *вероятно*, происходит в результате влияния деятельности человека. Антропогенный компонент наблюдаемого сокращения снежного покрова СП, *вероятно*, имел место с 1970 г. {4.3.3, 10.5.2, 10.5.3; таблица 10.1}

Фокусные элементы темы

ФЭТ.5 | Необратимость и резкое изменение

Ряд компонентов или явлений климатической системы были представлены в качестве факторов, потенциально действующих на пороговом уровне. Пересечение таких пороговых факторов может вести к резкому или необратимому переходу климатической системы или некоторых ее компонентов в другое состояние.

Резкое изменение климата определяется в Пятом оценочном докладе (ОД5) как крупномасштабное изменение в климатической системе, которое происходит в течение нескольких десятилетий или в более короткий период, сохраняется (или предположительно сохраняется) в течение как минимум нескольких десятилетий и вызывает значительные нарушения в функционировании антропогенных и природных систем. Имеется информация относительно потенциальных последствий некоторых резких изменений, но в общем существует *низкая степень достоверности* и согласие лишь немногих ученых относительно правдоподобия таких явлений в XXI веке. Примерами компонентов, подверженным таким резким изменениям, являются сила Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции (АМОЦ), выброс метанового клатрата, вымирание тропических и бореальных лесов, исчезновение летнего морского льда в Северном Ледовитом океане, долгосрочные засухи и муссонная циркуляция. {5.7, 6.4.7, 12.5.5; таблица 12.4}

Изменение называется необратимым, если временной масштаб восстановления из этого состояния в результате естественных процессов является значительно большим по сравнению с тем временем, которое необходимо данной системе для достижения этого возмущенного состояния. Такое поведение может возникнуть в случае, если временные масштабы возмущений и процессов восстановления различны, или если изменение климата может сохраняться в результате длительного времени возмущения цикла диоксида углерода (CO₂) в атмосфере (см. ТБ.8). В то время как изменения площади морского летнего льда в Северном Ледовитом океане, длительные засухи и муссонная циркуляция считаются обратимыми процессами в промежутках от нескольких лет до десятилетий, процесс вымирания тропических или бореальных лесов может стать обратимым только в масштабах столетий. Изменения, связанные с выбросами метанового клатрата и углерода из многолетней мерзлоты, деградацией гренландского и антарктического морского льда, могут быть необратимыми в масштабе тысячелетий после начала вызвавшего их возмущения. {5.8, 6.4.7, 12.5.5, 13.4.3, 13.4.4; таблица 12.4}

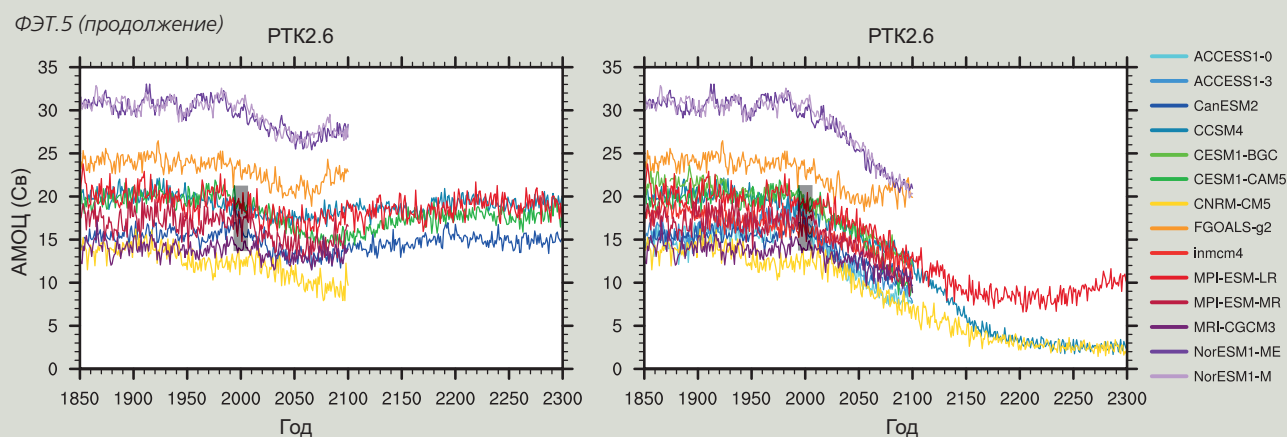
Резкое изменение климата, связанное с АМОЦ

Новые модельные расчеты переходного состояния климата подтвердили с *высокой степенью достоверности*, что значительные изменения силы АМОЦ вызывают резкие климатические изменения глобального масштаба, величина и структура которых напоминают осцилляции Дансгора-Эшгера и события Хейнрика в эпоху последнего оледенения. Достоверность связей между изменениями североатлантического климата и низкоширотных осадков повысилась с момента выхода Четвертого доклада об оценке МГЭИК (ДО4). На основе новых палеоклиматических реконструкций и исследований посредством моделирования можно сказать, что уменьшение мощности АМОЦ и соответствующее охлаждение поверхности североатлантической зоны океана с *весьма высокой степенью достоверности* вызвало смещения атлантической внутритропической зоны конвергенции в южном направлении и повлияло на американские (север и юг), африканские и азиатские муссоны. {5.7}

Межледниковый режим АМОЦ может восстановиться (*высокая степень достоверности*) в результате краткосрочного попадания пресной воды в субполярную часть Северной Атлантики. Примерно 8,2 тыс. лет тому назад внезапное высвобождение произошло в ходе финальных стадий таяния Североамериканского ледяного щита. Палеоклиматические данные наблюдений и результаты моделирования указывают, с *высокой степенью достоверности*, на видимое сокращение мощности АМОЦ, после которого наблюдалось быстрое восстановление в пределах примерно 200 лет после возмущения. {5.8.2}

Несмотря на то, что со времени выпуска ДО4 в рамках широкого диапазона сценариев будущих воздействий было проведено большее количество модельных расчетов, проекции поведения АМОЦ не изменились. АМОЦ, *весьма вероятно*, ослабнет в XXI веке по сравнению со значениями периода 1850-1900 гг. Наилучшие оценки и диапазоны ослабления по результатам этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP5) составляют 11% (1 - 24%) для репрезентативной траектории концентраций РТК2.6 и 34% (12 - 54%) для РТК8.5, но *степень достоверности* величины ослабления является *низкой*. Также по-прежнему *весьма маловероятно*, что АМОЦ будет характеризоваться резким переходным изменением ее состояния или нарушением ее процесса в XXI веке для рассматриваемых сценариев (*высокая степень достоверности*) (ФЭТ.5, рисунок 1). Для того, чтобы произошло резкое переходное изменение ее состояния, чувствительность АМОЦ к воздействию должна бы быть значительно больше, чем та, которая наблюдается в существующих в настоящее время моделях, или потребовалось бы, чтобы поток талой воды с ледяного щита Гренландии значительно превысил даже самые высокие показатели существующих проекций. Несмотря на то, что ни одна из этих возможностей не может быть исключена полностью, *маловероятно*, что произойдет нарушение АМОЦ после XXI века для рассматриваемых сценариев, но это нарушение после XXI века в результате значительного устойчивого потепления не может быть исключено. Существует *низкая степень достоверности* оценки эволюции АМОЦ после XXI века в связи с ограниченным количеством анализов и наличием сомнительных результатов. {12.4.7, 12.5.5}

(продолжение на следующей странице)



ФЭТ.5, рисунок 1 | Мощность Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции (АМОЦ) на 30 °с.ш. (Св) как функция года, с 1850 по 2300 гг., на основе расчетов, проведенных с помощью разных моделей общей циркуляции атмосферы и океана согласно сценарию РТК2.6 (слева) и РТК8.5 (справа). Вертикальная черная полоса показывает диапазон значений мощности АМОЦ, измеренной на 26° с.ш., с 2004 по 2011 гг. {Рисунки 3.11, 12.35}

Потенциальная необратимость изменений состояния многолетней мерзлоты, метановых клатратов и лесов

В теплеющем климате таяние многолетней мерзлоты может вызвать распад углерода, накопленного в замороженных почвах, который может продолжаться от сотен до тысяч лет, что приведет к увеличению атмосферных концентраций CO_2 и/или метана (CH_4). Существующие модельные исследования углеродного баланса многолетней мерзлоты в условиях будущего потепления, которые учитывают, по крайней мере, некоторые из важных процессов, связанных с многолетней мерзлотой, не дают последовательных результатов, помимо того факта, что современная многолетняя мерзлота станет чистым источником выбросов углерода в XXI веке в соответствии со сценариями будущего вероятного потепления (*низкая степень достоверности*). Это также отражает недостаточное понимание соответствующих процессов, происходящих в почве во время и после таяния многолетней мерзлоты, включая процессы, которые ведут к стабилизации размороженного углерода почвы, и исключает любые количественные оценки амплитуды необратимых изменений в климатической системе, потенциально связанных с выбросом газа из многолетней мерзлоты и соответствующими обратными связями. {6.4.7, 12.5.5}

Антропогенное потепление, *весьма вероятно*, ведет к усилению выбросов CH_4 как из наземных, так и океанических клатратов. Отложения клатратов CH_4 ниже океанского ложа подвержены дестабилизации в результате потепления океана. Однако, повышение уровня моря в результате изменений океанской массы усиливает стабильность клатратов в океане. При том, что имеется сложность формальной оценки, начальные оценочные параметры обратной связи дестабилизации клатратов CH_4 в XXI веке малы, но не незначительны. *Весьма маловероятно*, что в XXI веке CH_4 из клатратов будет выбрасываться в катастрофическом количестве (*высокая степень достоверности*). В многотысячелетнем временном масштабе такие выбросы CH_4 могут обеспечить положительную обратную связь антропогенного потепления и могут быть необратимыми вследствие разницы между временными масштабами выбросов и аккумуляции. {6.4.7, 12.5.5}

Существование пороговых факторов гибели амазонских и других тропических лесов, которые обусловлены резким изменением климата, но действие которых объясняется только лишь изменением климата, остается весьма неопределенным. Нельзя исключить возможность пересечения критических пороговых значений объема и продолжительности осадков в сухие сезоны. Реагирование бореальных лесов на проекции изменения климата также является весьма неопределенным, и существование критических пороговых значений не может исключаться в настоящее время. Существует *низкая степень достоверности* проекций гибели крупных площадей тропических и/или бореальных лесов. {12.5.5}

Потенциальная необратимость изменений в криосфере

Были проведены прямые оценки обратимости потерь морского льда в рамках исследований чувствительности к повышению и снижению концентраций CO_2 с использованием моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) или моделей системы Земля (МСЗ). Ни одна из них не продемонстрировала доказательства необратимого изменения арктического морского льда в какой-либо момент времени. Напротив, в результате сильного взаимодействия между поверхностными и глубинными водами Южного океана антарктический морской лед, интегрированный в некоторых моделях с повышающейся или снижающейся атмосферной концентрацией CO_2 , характеризуется определенным гистерезисным поведением. {12.5.5}

В настоящее время как Гренландский, так и Антарктический ледяные щиты имеют положительный баланс поверхностной массы (количество выпавшего снега превышает количество талой воды), несмотря на то, что оба теряют массу в результате того, что сток льда в море превышает итоговый баланс поверхностной массы. Положительная обратная связь действует как механизм сокращения объема и площади ледяного щита, когда уменьшение высоты поверхности ледяного щита вызывает уменьшение баланса поверхностной массы.

(продолжение на следующей странице)

ФЭТ.5 (продолжение)

В целом, это возникает в результате повышенного поверхностного таяния, и поэтому применимо в XXI веке к Гренландии, но не к Антарктике, где поверхностное таяние в настоящее время очень мало. Поверхностное таяние в Антарктике, согласно проекциям, станет существенным через несколько столетий согласно сценариям сильного радиационного воздействия хорошо перемешанных парниковых газов. {4.4, 13.4.4; вставки 5.2, 13.2}

Резкое изменение стока ледяного щита в море может быть вызвано нестабильным отступлением линии налегания в районах, где коренная порода располагается ниже уровня моря и ее склоны направлены внутрь ледяного щита. Это главным образом применимо к Западной Антарктике, но также к частям Восточной Антарктики и к Гренландии. Отступление линии налегания может быть спровоцировано разрушением шельфового ледника в результате потепления океанской воды под шельфовым ледником, что усиливает таяние подводного шельфового ледника, или образования водных бассейнов на поверхности шельфового ледника, что содействует его разрушению. В связи с тем, что рост ледяного щита представляет собой медленный процесс, такие изменения могут быть необратимыми в соответствии с определениями, принятыми в данном документе. {4.4.5; вставка 13.2}

Существует *высокая степень достоверности* того, что объемы Гренландского и Западноантарктического ледяных щитов были сокращены в ходе последних нескольких миллионов лет, которые были глобально теплее, чем текущий период. Модельные расчеты ледяного щита и геологические данные говорят о том, что Западноантарктический ледяной щит очень чувствителен к подповерхностному потеплению океана, и предполагают со *средней степенью достоверности*, что Западноантарктический ледяной щит отступит, если атмосферные концентрации CO₂ останутся в пределах или превысят диапазон 350-450 ppm на протяжении нескольких тысячелетий. {5.8.1, 13.4.4; вставка 13.2}

Имеющиеся данные указывают на то, что глобальное потепление выше порогового значения может привести к практически полной потере Гренландского ледяного щита за тысячелетний или более длительный период, что вызовет повышение глобального уровня моря примерно на 7 м. Исследования с зафиксированной топографией ледяного щита на текущий момент указывают на то, что пороговое значение средней глобальной приземной температуры по сравнению с доиндустриальным уровнем больше на 2°C, но меньше 4°C (*средняя степень достоверности*). Одно исследование динамики ледяного щита показывает, что по сравнению с доиндустриальным периодом это пороговое значение среднего глобального потепления больше 1°C (*низкая степень достоверности*). Учитывая текущее состояние научной неопределенности, *вероятный* диапазон не может быть определен количественно. Полная потеря Гренландского ледяного щита не неизбежна, поскольку это может занять тысячелетие или больше; если температуры понизятся до того, как ледяной щит полностью исчезнет, то масса ледяного щита может снова увеличиться. Однако, потеря некоторой части массы может быть необратимой в зависимости от продолжительности и степени превышения порогового значения, поскольку ледяной щит может иметь множество устойчивых состояний вследствие своего взаимодействия с региональным климатом. {13.4.3, 13.4.4}

ТР.4.6 Водный цикл

После Д04 появились новые доказательства определяемого воздействия человека на несколько аспектов водного цикла. Существует *средняя степень достоверности* того, что наблюдаемые изменения приповерхностной удельной влажности с 1973 г. содержат определяемый антропогенный компонент. След антропогенного водяного пара, рассчитанный с помощью ансамбля климатических моделей, был выявлен по оценкам содержания влаги в нижней тропосфере, полученным на основе данных специального микроволнового датчика (ССМ/И) за период 1988-2006 гг. Антропогенный вклад в повышение тропосферной удельной влажности характеризуется *средней степенью достоверности*. {2.5, 10.3}

Исследования причин средних глобальных зональных осадков над сушей и осадков в Арктике в обоих случаях показывают определяемое антропогенное влияние. В общем существует *средняя степень достоверности* относительно значительного влияния человека на глобальные изменения режимов осадков, включая их увеличение в средних и высоких широтах СП. Остающиеся неопределенности наблюдений и моделирования и значительное влияние внутренней изменчивости наблюдаемых осадков не дают возможности сделать более достоверные оценки. {2.5, 7.6, 10.3}

На основе собранных доказательств в отношении (с различными уровнями достоверности и правдоподобия) установления причин наблюдаемых изменений удельной влажности, осадков над сушей и поверхностной солености океана посредством их связи с осадками и испарением, и исходя из физического

понимания водного цикла, можно сказать, что влияние человека на глобальный водный цикл, *вероятно*, имело место с 1960 г. В этом заключается основное достижение после Д04. {2.4, 2.5, 3.3, 9.4.1, 10.3, 10.4.2; таблица 10.1; ЧЗВ 3.2}

ТР.4.7 Экстремальные климатические явления

Несколько новых исследований по установлению причин выявили определяемое антропогенное влияние в наблюдаемом увеличении частоты теплых дней и ночей и уменьшении частоты холодных дней и ночей. После Д04 и СДЭБ появились новые доказательства влияния человека на чрезвычайно теплые дневные температуры и есть новые доказательства того, что антропогенное воздействие может быть определено отдельно от естественного в глобальном масштабе и в некоторых континентальных и субконтинентальных регионах. Это укрепляет выводы Д04 и СДЭБ, и сейчас *весьма вероятно*, что антропогенное воздействие внесло вклад в наблюдаемые изменения повторяемости и интенсивности суточных экстремальных температур в глобальном масштабе с середины XX столетия. Влияние деятельности человека, *вероятно*, значительно усилило возможность возникновения волн тепла в некоторых местах. См. ФЭТ.9 и ФЭТ.9, таблица 1, для резюме оценки экстремальных метеорологических и климатических явлений. {10.6}

После Д04 появились некоторые новые ограниченные прямые доказательства антропогенного влияния на экстремальные осадки, включая формальное исследование по выявлению и установлению причин, и косвенные доказательства того, что экстремальные осадки, как ожидается, могут повыситься с учетом доказательств антропогенного влияния на различные аспекты глобального гидрологического цикла, и существует *высокая*

степень достоверности того, что интенсивность явлений экстремальных осадков повысится по мере потепления темпами, превышающими темпы средних значений осадков. В регионах суши, где охват наблюдениями достаточен для оценки, существует *средняя степень достоверности* того, что антропогенное воздействие внесло вклад в глобальную интенсификацию сильных осадков во второй половине XX века. {7.6, 10.6}

В глобальном масштабе существует *низкая степень достоверности* объяснения причин изменений активности тропических циклонов влиянием деятельности человека. Это вызвано недостаточностью данных наблюдений, неполным физическим пониманием связей между антропогенными факторами климата и активностью тропических циклонов, а также низким уровнем согласованности между результатами исследований относительной важности внутренней изменчивости и антропогенного и естественного воздействий. В Североатлантической зоне существует *средняя степень достоверности* того, что уменьшение воздействия аэрозолей над Северной Атлантикой способствовало, по меньшей мере частично, наблюдаемому усилению активности тропических циклонов в этом месте с 1970-х годов. Сохраняются значительные разногласия по поводу относительной важности внутренней изменчивости, воздействия ХППГ и аэрозолей для данного наблюдаемого тренда. {2.6, 10.6, 14.6}

Несмотря на выводы Д04 о том, что *скорее вероятно, чем нет*, антропогенное влияние внесло вклад в повышение риска возникновения засух во второй половине XX века, обновленная оценка данных наблюдений указывает на то, что не поддерживаются более выводы Д04 в отношении усиления глобальных трендов гидрологических засух с 1970-х годов. Из-за *низкой степени достоверности* наблюдаемых крупномасштабных трендов засушливых условий, а также сложностей, связанных с отделением фактора изменчивости протекания засухи в масштабе десятилетий от долгосрочного климатического изменения, в настоящее время существует *низкая степень достоверности* объяснения влиянием деятельности человека причин, вызывающих изменения феномена засухи на всей поверхности суши с середины XX века. {2.6, 10.6}

TR.4.8 От глобального к региональному

В более долгосрочной перспективе видно, что внешние воздействия играли значительную роль в качестве факторов, вызывающих изменчивость климата в масштабах полушария в доиндустриальные времена (вставка TR.5). *Весьма маловероятно*, что колебания температуры в СП с 1400 по 1850 гг. могут объясняться исключительно внутренней изменчивостью. Существует средняя степень достоверности того, что внешнее воздействие внесло вклад в изменчивость температуры в СП с 850 по 1400 гг. и что внешнее воздействие способствовало колебаниям температуры в Европе в последние пять веков. {5.3.3, 5.5.1, 10.7.2, 10.7.5; таблица 10.1}

Изменения атмосферной циркуляции важны для изменения местного климата, поскольку они могут привести к более или менее значительным изменениям климата в конкретном регионе, а не в другом месте. Вероятно, что влияние деятельности человека изменило в глобальном масштабе режимы давления на уровне моря. Существует *средняя степень достоверности* того, что истощение слоя стратосферного озона внесло вклад в наблюдаемый сдвиг в сторону полюса южной границы ячейки Хэдли в летний период Южного полушария. *Вероятно*, что истощение слоя стратосферного озона внесло вклад в положительный тренд ЮКМ, наблюдающийся в летний период Южного полушария с середины XX века, который соответствует уменьшению давления на уровне моря в высоких широтах и его повышению в субтропиках (рисунок TR.11).{10.3}

Имеются более убедительные доказательства того, что наблюдаемые изменения многих компонентов климатической системы могут сейчас быть отнесены на счет деятельности человека в глобальном и региональном масштабах (рисунок TR.12). Неопределенность, связанная с данными наблюдений, исследована гораздо более полно, чем ранее, и с помощью климатических моделей нового поколения были определены следы влияния деятельности человека. Улучшилось понимание изменений, происходящих в океане, включая изменения солёности, которые соответствуют крупномасштабной

интенсификации водного цикла, предсказанной климатическими моделями. Изменения приповерхностных температур, температур свободной атмосферы, температур океана и площади снежного покрова и морского льда в СП, если рассматривать их вместе, свидетельствуют не только о глобальных средних изменениях, но и показывают также отчетливые региональные картины изменений, согласующиеся с ожидаемыми отпечатками изменения в результате антропогенных воздействий и ожидаемых реакций на извержения вулканов. (рисунок TR.12). {10.3-10.6, 10.9}

Влияние деятельности человека было выявлено почти во всех проанализированных крупных компонентах климатической системы (рисунок TR.12). Все вместе скомбинированные доказательства повышают общий уровень достоверности установления причин наблюдаемого изменения климата и сокращают неопределенности, связанные с оценкой, основанной на одной климатической переменной. На основе комбинации этих доказательств *практически определено*, что влияние деятельности человека содействовало потеплению глобальной климатической системы. Было выявлено антропогенное влияние на изменения температуры вблизи поверхности Земли, температуры атмосферы и океанов, а также на изменения криосферы, водного цикла и некоторых экстремальных явлений. Существует веское доказательство того, что солнечное воздействие, вулканы и внутренняя изменчивость исключаются из самых сильных факторов, обуславливающих потепление с 1950 г. {10.9; таблица 10.1; ЧЗВ 5.1}

Над каждым континентом, за исключением Антарктики, антропогенные воздействия, *вероятно*, внесли существенный вклад в повышение поверхностной температуры с середины XX века (рисунок TR.12). *Вероятно*, что значительный антропогенный вклад в весьма значительное повышение приземной температуры имел место в Арктике в последние 50 лет. В отношении Антарктики значительные неопределенности, связанные с данными наблюдений, обуславливают *низкую степень достоверности* того, что антропогенные воздействия внесли вклад в наблюдаемое

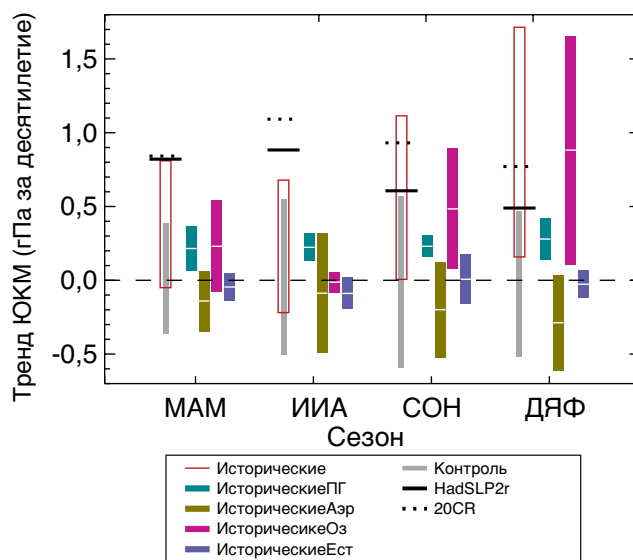


Рисунок TR.11 | Смоделированные и наблюдаемые тренды индекса Южной кольцевой моды (ЮКМ) в период 1951-2011 гг. в разбивке по сезонам. Индекс ЮКМ представляет собой разницу между зональным средним значением давления на уровне моря (ДУМ) на 40° ю.ш. и 65° ю.ш. Индекс ЮКМ определен без нормализации, с тем чтобы значения смоделированных или наблюдаемых трендов можно было сравнить. Черные линии показывают наблюдаемые тренды, полученные на основе версии 2r данных Центра Хэдли о давлении на уровне моря (HadSLP2r) (сплошная линия), и реанализа XX века (пунктирная линия). Серые полосы показывают диапазоны от 5-го до 95-го перцентиля контрольных трендов, а красные прямоугольники - диапазоны трендов от 5-го до 95-го перцентиля имитационных моделирований исторических данных, включая антропогенные и естественные воздействия. Цветные полосы показывают среднее значение тренда по ансамблю и их соответствующие доверительные интервалы в 5 - 95%, полученные по расчетам реакции на изменения воздействия хорошо перемешанных парниковых газов (светло-зеленый цвет), аэрозолей (темно-зеленый цвет), озона (малиновый цвет) и естественных воздействий (синий цвет) посредством моделей CMIP5 для расчета индивидуальных воздействий. {рисунок 10.13b}

потепление, показатели которого были осреднены по имеющимся станциям. Выявление и объяснение причин в региональных масштабах усложняются тем, что динамические факторы (изменения циркуляции) играют все более значительную роль, расширился диапазон воздействий, которые могут быть важными на региональном уровне, а также повысилась сложность моделирования соответствующих процессов в региональных масштабах. Тем не менее, вероятно, что деятельность человека способствовала повышению температуры во многих субконтинентальных регионах. {10.3; вставка 5.1}

Очевидной является согласованность наблюдаемых изменений с модельными расчетами антропогенного и естественного воздействия в физической системе

(рисунок TP.12), в частности для переменных, связанных с температурой. Температура поверхности и содержание тепла в океане указывают на появляющееся антропогенные и естественные сигналы в обоих рядах данных и явный отход от альтернативной гипотезы о том, что изменчивость является только естественной. Эти сигналы проявляются не только в глобальных средних показателях, но также и в региональных масштабах на континентах и в бассейнах океанов в отношении каждой из этих переменных. Площадь морского льда явно связана с диапазоном внутренней изменчивости для Арктики. В субконтинентальных масштабах влияние деятельности человека, вероятно, значительно повысило вероятность возникновения волн тепла в некоторых местах. {таблица 10.1}

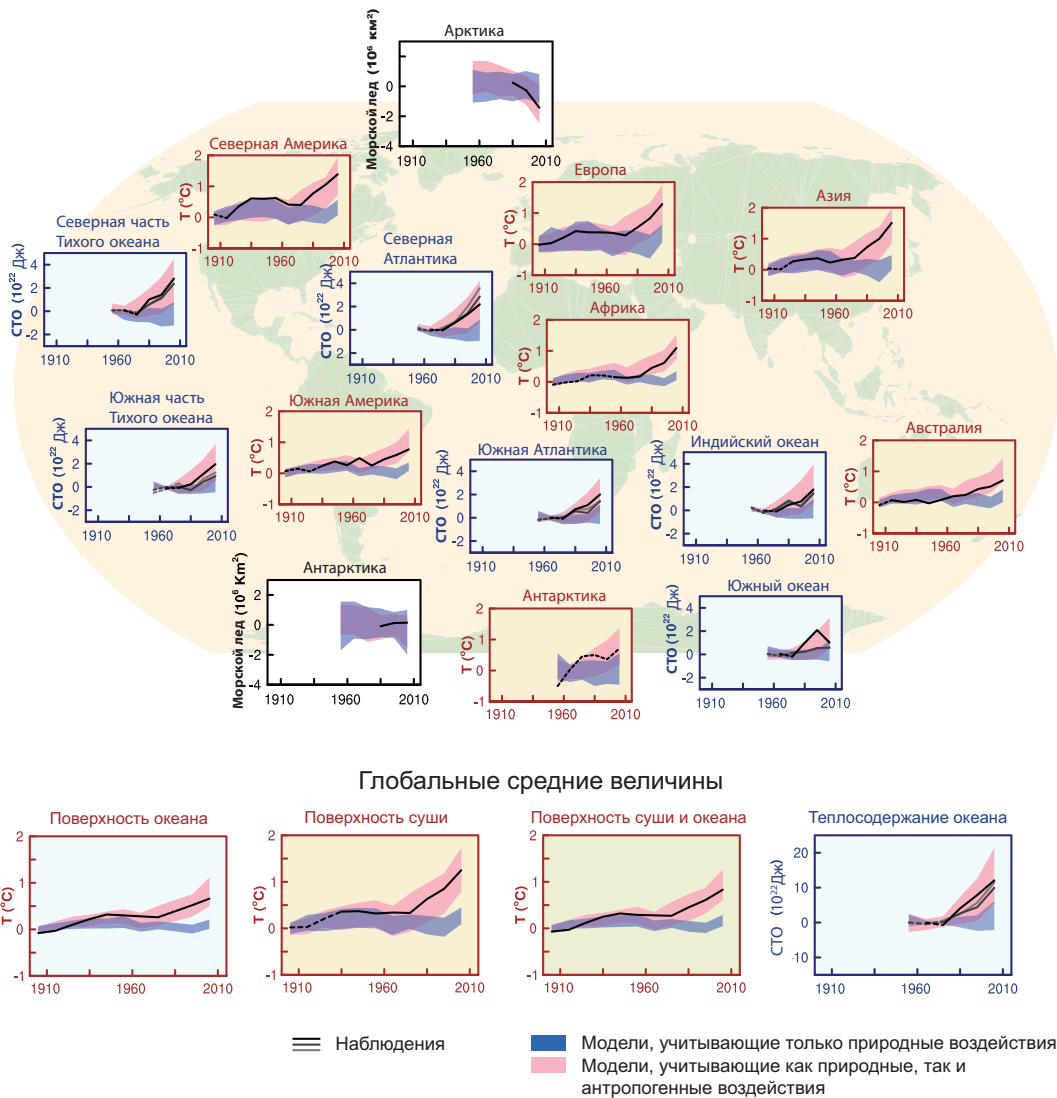


Рисунок TP.12 | Сравнение наблюдаемого и смоделированного изменения в климатической системе в региональных масштабах (верхняя часть) и в глобальных масштабах (четыре прямоугольника в нижней части). Коричневые прямоугольники представляют временные ряды приземных температур, синие прямоугольники - временные ряды данных о содержании тепла в океане, а белые прямоугольники - временные ряды данных о морском льде (десятилетние средние). Каждый прямоугольник показывает данные наблюдений (черный или черный с серым затенением) и диапазон в 5 - 95% смоделированного отклика на естественные воздействия (синее затенение), естественные и антропогенные воздействия (розовое затенение) наряду с соответствующими средними значениями по ансамблю (темно-синие и темно-красные соответственно). Наблюдаемая приземная температура дается по четвертой версии набора данных о приземной температуре Отдела климатических исследований Центра Хэдли (HadCRUT4). Представлены три ряда данных наблюдений за содержанием тепла в океане (СТО). Аномалии морского льда (а не абсолютные значения) нанесены точками и основаны на модельных расчетах рисунка 10.16. Линии наблюдений либо сплошные, либо прерывистые, и показывают качество наблюдений и оценок. На рисунках, на которых показаны приземная температура, температура поверхности океана, и на рисунках осадков, сплошные линии наблюдений показывают места, где пространственный охват рассматриваемых районов составляет более 50%, а прерывистые линии наблюдений те места, где охват меньше 50%. Например, охват данными Антарктики никогда не бывает больше 50% площади суши континента. На рисунках, показывающих содержание тепла в океане и морской лед, сплошной линией обозначены места с хорошим и более качественным охватом данными, а пунктиром - места с лишь адекватным охватом данными. Этот рисунок основан на рисунке 10.21, за исключением представленных десятилетних, а не годовых средних значений. Более подробная информация в отношении соответствующего рисунка РП.6 приведена в Дополнительном материале TP. {Рисунок 10.21}

Вставка TP.4 | Оценка моделей

Совершенствование климатических моделей было продолжено после Д04, и многие модели были расширены до моделей системы Земля (МСЗ) благодаря включению в них представления биогеохимических циклов, имеющих важное значение для изменения климата. На рисунке 1 вставки TP.4 показан частичный обзор возможностей моделей, оцененных в данном докладе, включая усовершенствования или их отсутствие применительно к моделям, которые были оценены в Д04 или которые существовали во время Д04. {9.1, 9.8.1; вставка 9.1}

Способность климатических моделей воспроизводить приземную температуру улучшилась во многих, хотя и не во всех важных аспектах по отношению к поколению моделей, оцененных в Д04. Остается *весьма высокая степень достоверности* того, что модели воспроизводят наблюдаемые крупномасштабные, осредненные по времени режимы приземной температуры (корреляция режима порядка 0,99), несмотря на то, что систематические ошибки в несколько градусов Цельсия наблюдаются для некоторых регионов. Существует *высокая степень достоверности* того, что в региональном масштабе (субконтинентальный или меньше) осредненная по времени приземная температура моделируется лучше, чем во время Д04; однако, достоверность потенциала моделей ниже, чем для крупного масштаба. Модели способны воспроизводить значение наблюдаемой глобальной средней, или средней по Северному полушарию, изменчивости температуры в межгодовых-вековых масштабах времени. Модели также способны воспроизводить крупномасштабные режимы температуры в Последний ледниковый максимум, что указывает на способность моделировать состояние климата, значительно отличающееся от современного (см. также вставку TP.5). {9.4.1, 9.6.1}

Существует *весьма высокая степень достоверности* того, что модели воспроизводят общие особенности изменений глобальной и средней приземной температуры за исторический период, включая потепление во второй половине XX века и похолодание, немедленно следующее за крупными извержениями вулканов. Большинство модельных расчетов исторического периода не воспроизводят наблюдаемое ослабление тренда среднего глобального повышения приземной температуры за последние 10 - 15 лет (см. вставку TP.3). Существует *средняя степень достоверности* того, что различие между трендами, основанными на данных моделей и данных наблюдений в период 1998-2012 гг., в значительной степени обусловлено внутренней изменчивостью наряду с возможным привнесением в него несоответствий используемых в моделях данных о воздействиях, а также переоценкой в некоторых моделях реакции на усиление воздействия парниковых газов. Большая часть моделей, хотя и не все, переоценивают наблюдаемый тренд потепления в тропической тропосфере в последние 30 лет и, как правило, недооценивают долгосрочный тренд охлаждения нижней стратосферы. {9.4.1; вставка 9.2}

Модельные расчеты крупномасштабных режимов осадков несколько улучшились после Д04, хотя эффективность воспроизведения осадков при помощи моделей продолжает оставаться ниже, чем для приземной температуры. Корреляция пространственной структуры между смоделированными и наблюдаемыми среднегодовыми осадками повысилась с 0,77 для моделей, существовавших во время Д04, до 0,82 для современных моделей. На региональном уровне моделирование осадков также не осуществляется, а их оценка остается сложной из-за неопределенностей в данных наблюдений. {9.4.1, 9.6.1}

Многие модели могут воспроизводить наблюдаемые изменения содержания тепла в верхнем слое океана с 1961 по 2005 гг. Временные ряды мультимодельных средних значений располагаются в диапазоне имеющихся оценок данных наблюдений для большей части периода. {9.4.2}

Имеются четкие доказательства того, что нисходящий тренд площади летнего морского льда в Арктике воспроизводится лучше, чем во время Д04. Около четверти моделей показывают столь же значительный и даже более ярко выраженный тренд, нежели тренд, полученный на основе данных наблюдений в период спутниковых наблюдений 1979-2012 гг. Большинство моделей показывают небольшой нисходящий тренд площади антарктического морского льда, хотя и при значительном межмодельном разбросе, в отличие от незначительного восходящего тренда, демонстрируемого данными наблюдений. {9.4.3}

После Д04 наблюдается значительный прогресс в оценке модельных расчетов экстремальных явлений. Изменения частоты экстремально теплых и холодных дней и ночей во второй половине XX века согласуется между данными моделей и данными наблюдений, при этом средне-ансамблевые средне-глобальные временные ряды в большинстве случаев попадают в диапазон оценок наблюдений. Большая часть моделей недооценивает чувствительность экстремальных осадков к изменчивости температуры или трендов, особенно в тропиках. {9.5.4}

В большинстве этих моделей, которые включают интерактивный углеродный цикл, модельные расчеты глобальных стоков углерода на суше и в океане за последнюю часть XX века находятся в диапазоне оценок, основанных на данных наблюдений. Однако модели систематически недооценивают сток суши СП из-за методов описания атмосферной инверсии. {9.4.5}

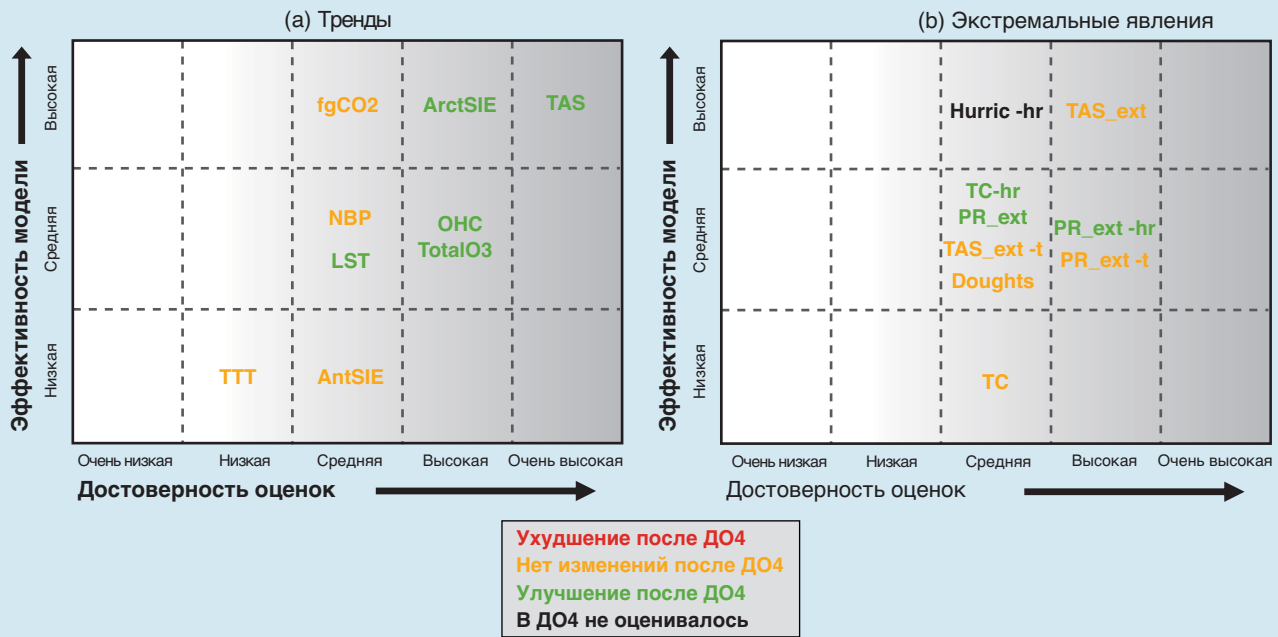
Методы регионального даунскейлинга обеспечивают климатическую информацию в более мелких масштабах, необходимую для многих исследований климатических воздействий. Существует *высокая степень достоверности* того, что даунскейлинг повышает эффективность как в отношении регионов с крайне изменчивой топографией, так и для различных мелкомасштабных явлений. {9.6.4}

Модельный разброс диапазонов чувствительности равновесного климата соответствует значениям от 2,1°C до 4,7°C и весьма аналогичен оценке, данной в Д04. Существует *весьма высокая степень достоверности* того, что первичным фактором, вносящим вклад в разброс значений чувствительности равновесного климата, остается обратная связь облаков. Это применимо как к современному климату, так и к последнему ледовому максимуму. Также существует *весьма высокая степень достоверности* того, что в соответствии с данными наблюдений, модели показывают сильную положительную корреляцию между температурой тропосферы и водяным паром в региональных - глобальных масштабах, предполагая положительную обратную связь водяного пара как на основе моделей, так и данных наблюдений. {5.3.3, 9.4.1, 9.7}

(продолжение на следующей странице)

Вставка TP.4 (продолжение)

Климатические модели основаны на физических принципах и они воспроизводят много важных элементов наблюдаемого климата. Оба аспекта вносят вклад в нашу уверенность в пригодности моделей для их применения в исследованиях по выявлению и объяснению причин (см. главу 10) и для будущих количественных предсказаний и проекций (см. главы 11 - 14). Становится все больше доказательств того, что некоторые элементы наблюдаемой изменчивости или трендов хорошо коррелируют с межмодельными различиями в модельных проекциях будущих изменений климата для таких величин, как тренды летнего арктического морского льда, обратная связь снег-альbedo и расход углерода на суше в тропиках. Однако, все еще не существует универсальной стратегии для преобразования эффективности работы модели климата в относительный вес этой модели при осреднении по мультимодельному ансамблю проекций климата. {9.8.3}



Вставка TP.4, рисунок 1 | Резюме того, насколько хорошо климатические модели сегодняшнего поколения воспроизводят важные характеристики климата XX века. Достоверность оценки повышается слева направо, как это показано усилением затенения. Качество моделей повышается снизу вверх. Цветом показаны улучшения моделей от имевшихся во время ДО4 до существующих оценок. Имел место ряд усовершенствований после ДО4, и некоторые из моделируемых величин лучше не рассчитываются. Основные климатические величины перечислены в данном резюме и ни одна из них не демонстрирует ухудшения. Оценка основана большей частью на мультимодельном среднем значении, не исключая того, что отклонения могут существовать в отношении отдельных моделей. Оценки качества моделей упрощены для представления на данном рисунке; детали каждой оценки представлены в главе 9. {9.8.1; рисунок 9.44}

На рисунке выделены следующие ключевые характеристики, при этом разделы, в которых подкрепляется оценка, добавлены в скобках:

(a) Тренды:

- AntSIE (Площадь антарктического морского льда {9.4.3})
- ArctSIE (Площадь арктического морского льда {9.4.3})
- fgCO2 (Глобальный сток углерода в океане {9.4.5})
- LST (Температура нижней стратосферы {9.4.1.})
- NBP (Глобальный сток углерода суши {9.4.5})
- OHC (Глобальное содержание тепла в океане {9.4.2})
- TotalO3 (Общее содержание озона {9.4.1})
- TAS (Температура приземного воздуха {9.4.1})
- TTT (Тропическая тропосферная температура {9.4.1})

(b) Экстремальные явления:

- Засухи (Засухи {9.5.4})
- Hurric-hr (Межгодовое количество атлантических ураганов в высоком разрешении МОЦА {9.5.4})
- PR_ext (Глобальное распределение экстремальных осадков {9.5.4})
- PR_ext-hr (Глобальное распределение экстремальных осадков в высоком разрешении МОЦА {9.5.4})
- PR_ext-t (Глобальные тренды экстремальных осадков {9.5.4})
- TAS_ext (Глобальное распределение экстремальных температур приземного воздуха {9.5.4})
- TAS_ext-t (Глобальные тренды экстремальных температур приземного воздуха {9.5.4})
- TC (Траектории и интенсивность тропических циклонов {9.5.4})
- TC-hr (Траектории и интенсивность тропических циклонов в высоком разрешении МОЦА {9.5.4})

Вставка ТР.5 | Палеоклимат

Реконструкции на основе архивов палеоклиматической информации позволяют рассматривать текущие изменения состава атмосферы, уровня моря и климата (включая экстремальные явления, такие как засухи и паводки), а также будущие проекции в более широком контексте прошлой изменчивости климата (см. раздел ТР.2). {5.2-5.6, 6.2, 10.7}

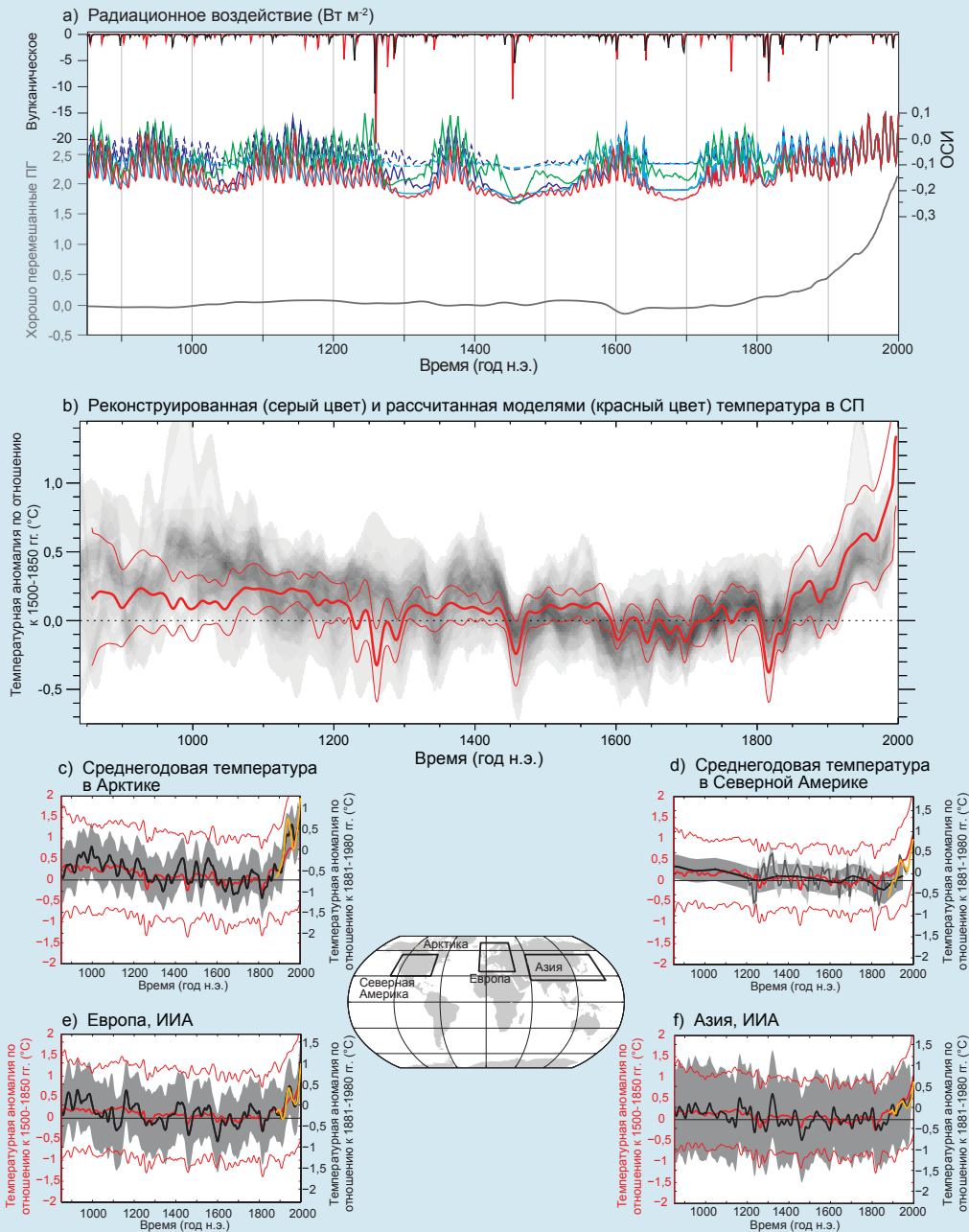
Информация о климате в прошлом также содержит сведения о поведении медленных компонентов климатической системы, включая углеродный цикл, ледяные щиты и глубинный слой океана, ряд инструментальных данных о которых короткий по сравнению с временными масштабами, характерными для их реакций на возмущения, обеспечивая, таким образом, получение данных о механизмах резких и необратимых изменений. С учетом знаний о прошлых внешних климатических воздействиях обобщение палеоклиматических данных позволило зафиксировать полярное усиление, характеризующее усиленным ростом температуры в Арктике по сравнению со средней глобальной температурой, как реакцию на высокие или низкие концентрации CO₂. {5.2.1, 5.2.2, 5.6, 5.7, 5.8, 6.2, 8.4.2, 13.2.1, 13.4; вставки 5.1, 5.2}

С момента выхода ДО4 включение модельных расчетов палеоклимата в структуру РМIP3 (Проект по сравнению палеоклиматических моделей)/CMIP5 позволило более тесно связать палеоклиматическую информацию с проекциями будущего климата. Палеоклиматическая информация для среднего голоцена (6 тыс. лет тому назад), последнего ледникового максимума (около 21 тыс. лет назад) и прошлого тысячелетия используется для проверки способности моделей реалистично воспроизводить величину и крупномасштабный характер прошлых изменений. Объединение информации, полученной на основе палеоклиматических модельных расчетов и реконструкций, позволяет количественно оценить реакцию климатической системы на радиационные возмущения, ограничить диапазон равновесной чувствительности климата к этим возмущениям, а также отобразить прошлые закономерности внутренней изменчивости климата в масштабе от нескольких лет до нескольких столетий. {5.3.1-5.3.5, 5.4, 5.5.1, 9.4.1, 9.4.2, 9.5.3, 9.7.2, 10.7.2, 14.1.2}

Во вставке ТР.5, на рисунке 1 представлено сравнение модельных расчетов и реконструкций для последнего тысячелетия в рамках этапа 3 Проекта по сравнению палеоклиматических моделей (РМIP3)/CMIP5, а также соответствующее радиационное воздействие, обусловленное солнечной активностью, вулканической активностью и хорошо перемешанными парниковыми газами. Что касается среднегодовых температур в СП, то *весьма вероятно*, что период 1983-2012 гг. был самым теплым 30-летним периодом за последние 800 лет (*высокая степень достоверности*) и, вероятно, самым теплым 30-летним периодом за последние 1400 лет (*средняя степень достоверности*). Это подтверждается сравнением данных инструментальных наблюдений температуры с множественными реконструкциями на основе различных косвенных данных и статистических методов и согласуется с ДО4. В отношении изменений радиационного воздействия, связанных с солнечным излучением, вулканическим и антропогенным факторами, климатические модели воспроизводят многодесятилетние изменения температуры в СП за последние 1200 лет, которые, как правило, согласуются по величине и времени с реконструкциями в рамках их диапазонов неопределенности. Реконструкции температуры в континентальном масштабе показывают, с *высокой степенью достоверности*, многодесятилетние периоды во время средневековой аномалии климата (примерно 950 -1250 гг.), которые в некоторых регионах были такими же теплыми, как и в середине XX века, а в других регионах такими же теплыми, как и в конце XX века. С *высокой степенью достоверности* можно констатировать, что эти региональные теплые периоды не были такими же синхронными в различных регионах, как потепление с середины XX века. Сравнение реконструкций и модельных расчетов показывает *высокую степень достоверности* того, что не только внешнее орбитальное, солнечное и вулканическое воздействие, но также и внутренняя изменчивость внесли существенный вклад в пространственную структуру и временные рамки изменений приземной температуры в период между средневековой аномалией климата и малым ледниковым периодом (примерно 1450-1850 гг.). Вместе с тем существует лишь *очень низкая степень достоверности* количественных оценок их относительных вкладов. *Весьма маловероятно*, что изменения температуры в СП с 1400 по 1850 гг. можно объяснить одной внутренней изменчивостью. Существует *средняя степень достоверности* того, что внешнее воздействие внесло вклад в изменения температуры в СП с 850 по 1400 гг. и что оно внесло вклад в изменения температуры в Европе в течение последних пяти столетий. {5.3.5, 5.5.1, 10.7.2, 10.7.5; таблица 10.1}

(продолжение на следующей странице)

Вставка TP.5 (продолжение)



Вставка TP.5, рисунок 1 | Модельные расчеты и реконструкции для последнего тысячелетия. (а) Радиационное воздействие, обусловленное вулканической активностью, солнечной активностью и хорошо перемешанными парниковыми газами, в рамках RMP3/CMIP5 для 850-2000 гг. Разным цветом показаны два существующих комплекта данных по вулканическому воздействию и четыре оценки солнечного воздействия. Что касается солнечного воздействия, сплошными (пунктирными) линиями показаны варианты реконструкций, в которых фоновые изменения излучения учитываются (не учитываются); (б) рассчитанные моделями (красный) и реконструированные (затенение) изменения температуры в Северном полушарии (СП) в рамках RMP3/CMIP5 для 850-2000 гг. Жирной красной линией показано мультимодельное среднее, а тонкими красными линиями показан 90-процентный мультимодельный диапазон. Перекрытие реконструированных температур показано серым затенением; все данные выражены в виде аномалий от их среднего значения для 1500-1850 гг. и сглажены 30-летним фильтром. Отметим, что некоторые реконструкции получены для области меньшей, чем всё СП, или сделаны для конкретного сезона, тогда как в случае модельных расчетов представлены годовые температуры, осредненные для всего СП. (с), (д), (е) и (ф) Среднегодовая температура в Арктике и Северной Америке и температура в Европе и Азии в июне, июле и августе (ИИА) с 950 до 2000 гг. на основе реконструкций (черная линия) и модельных расчетов в рамках RMP3/CMIP5 (жирная красная линия, мультимодельное среднее; тонкая красная линия, 90-процентный мультимодельный диапазон). Все красные кривые выражены в виде аномалий от их среднего значения для 1500-1850 гг. и сглажены 30-летним фильтром. Затененная область показывает неопределенности в результате каждой реконструкции (Арктика: 90-процентные доверительные интервалы, Северная Америка: стандартное отклонение ± 2 , Азия: среднеквадратичная ошибка ± 2 , Европа: 95-процентные доверительные интервалы). Для сравнения с данными инструментальных наблюдений показан комплект данных по температуре с наземных станций, используемых Отделом климатических исследований (CRUTEM4) (желтая линия). Эти данные инструментальных наблюдений не обязательно являются данными, которые используются при калибровке реконструкций, и поэтому они могут демонстрировать большее или меньшее соответствие реконструкциям, чем данные инструментальных наблюдений, которые используются при калибровке; время отсечки также может в итоге привести к показанным сглаженным результатам. Все линии сглажены 30-летним скользящим средним. На карте показаны отдельные регионы для каждой реконструкции. {5.3.5; таблица 5.A.1; рисунки 5.1, 5.8, 5.12}

ТР.5 Проекция изменения глобального и регионального климата

ТР.5.1 Введение

Для проекций изменений климатической системы используется иерархия климатических моделей разной сложности - от простых климатических моделей до моделей промежуточной сложности, полных климатических моделей и моделей системы Земля (МСЗ). Эти модели воспроизводят изменения на основе набора сценариев антропогенных воздействий. Для новых климатических модельных расчетов, выполненных в рамках этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей (СМIP5) Всемирной программы исследований климата, использовался новый набор сценариев, а именно, репрезентативные траектории концентраций (РТК). Большое количество полных климатических моделей и МСЗ участвовали в СМIP5, результаты которого легли в основу проекций климатической системы.

В данном разделе приведена краткая оценка этих проекций изменения климата. Во-первых, здесь рассматриваются будущее воздействие и сценарии. В следующих подразделах рассматриваются различные аспекты проекций изменения глобального и регионального климата, в том числе краткосрочные (примерно до середины века) и долгосрочные (конец XXI века) проекции атмосферы, океана и криосферы; проекции углеродного и других биогеохимических циклов; проекции изменения уровня моря и, наконец, изменения климатических явлений и другие аспекты регионального климата в течение XXI века. Проектируемые изменения указаны относительно среднего

значения для 1986-2005 гг., если не указано иное. Более долгосрочные проекции изменения климата и информация о стабилизации и целевых показателях климата представлены в ФЭТ.8. Были предложены методы противодействия изменению климата, называемые геоинжинирингом, обзор которых приводится во вставке ТР.7. {11.3, 12.3-12.5, 13.5-13.7, 14.1-14.6, приложение I}

ТР.5.2 Будущее воздействие и сценарии

В данном оценочном докладе используется набор новых сценариев РТК, которые во многом заменяют сценарии Специального доклада о сценариях выбросов (СДСВ) МГЭИК (см. вставку ТР.6 и приложение II с таблицами сценариев климатической системы). Они воспроизводят диапазон реакций от продолжающегося потепления до практически стабилизированного воздействия и жесткого сценария смягчения воздействий (РТК2.6), в рамках которого РВ стабилизируется, а затем медленно ослабевает после середины XXI века. В отличие от Д04 изменение климата в сценариях РТК в ОД5 определяется комбинацией мер по адаптации и смягчению воздействий. Меры по смягчению воздействий, вводимые в настоящее время в различные сценарии РТК, не дают заметно отличающихся результатов по изменению климата на следующие приблизительно 30 лет, в то время как долгосрочное изменение климата с середины века заметно различается в различных сценариях РТК. {Вставка 1.1}

Диапазон антропогенных выбросов аэрозолей во всех сценариях оказывает большее влияние на краткосрочные климатические проекции, чем соответствующий диапазон долгоживущих ПГ, в частности, в региональных

Вставка ТР.6 | Новые сценарии репрезентативных траекторий концентраций и модели этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей

Будущие антропогенные выбросы ПГ, аэрозольные частицы и другие факторы воздействия, например, изменения в землепользовании, зависят от социально-экономических факторов и на них могут повлиять глобальные геополитические соглашения по борьбе с этими выбросами для обеспечения смягчения воздействий на изменение климата. В Д04 широко использовались сценарии СДСВ, которые не включают дополнительные инициативы в области климата, что означает, что не было ни одного сценария, который четко предполагает осуществление Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН) и достижение целей по выбросам Киотского протокола. В то же время выбросы парниковых газов напрямую зависят от политики, не учитывающей изменение климата, которая направлена на достижение целого ряда других целей. Сценарии СДСВ были разработаны с использованием последовательного подхода, иными словами, социально-экономических факторов, вводимых в сценарии выбросов, которые затем использовались в простых климатических моделях для определения концентраций ПГ, и других факторов, необходимых для воздействия в более сложных МОЦАО. В данном докладе приводится оценка результатов модельных расчетов климата, которые используют новые сценарии (некоторые из которых включают предполагаемые политические меры для целей смягчения воздействий), называемые репрезентативными траекториями концентраций (РТК). Эти РТК представляют собой расширенный набор сценариев смягчения воздействий, и отбирались они по различным целевым показателям в отношении радиационного воздействия в 2100 г. (примерно 2,6, 4,5, 6,0 и 8,5 Вт м⁻²; рисунок ТР.15). Сценарии следует рассматривать как вероятные и иллюстративные, и они не содержат соответствующих оценок вероятностей. {12.3.1; вставка 1.1}

Сценарии РТК были разработаны с использованием моделей комплексной оценки (МКО), которые обычно включают экономические, демографические, энергетические и простые климатические компоненты. Сценарии выбросов, которые они содержат, затем прогоняются в простой модели для получения временных рядов концентраций ПГ, которые могут быть использованы в МОЦАО. Временные ряды выбросов на основе РТК затем могут использоваться напрямую в МСЗ, которые включают интерактивную биогеохимию (по меньшей мере, углеродный цикл на суше и в океане). {12.3.1; вставка 1.1}

Мультимодельный эксперимент СМIP5 (координируемый Всемирной программой исследований климата) предоставляет беспрецедентный уровень информации, на которой можно обосновывать оценки изменчивости и изменения климата. СМIP5 включает новые МСЗ, помимо МОЦАО, новые модельные эксперименты и больше диагностической выходной продукции. СМIP5 является гораздо более всеобъемлющим, чем предыдущий мультимодельный эксперимент СМIP3, результаты которого были доступны во время Д04 МГЭИК. В СМIP5 задействовано в два раза больше моделей, намного больше экспериментов (которые также включают эксперименты, направленные на понимание реакций в прогонах сценариев будущего изменения климата) и почти 2 x 10¹⁵ байт данных (по сравнению с более чем 30 x 10¹² байт данных в СМIP3). В моделях СМIP5 более полно рассматривается большее число факторов воздействия, в частности, связанных с аэрозолем и землепользованием. Аэрозоль черного углерода теперь является общепринятым фактором воздействия. Что касается CO₂, то в СМIP5 оцениваются как проекции, задаваемые концентрациями, так и проекции, задаваемые выбросами. Они позволяют количественно оценивать неопределенности физической реакции, а также взаимосвязи климат-углеродный цикл. {1.5.2}

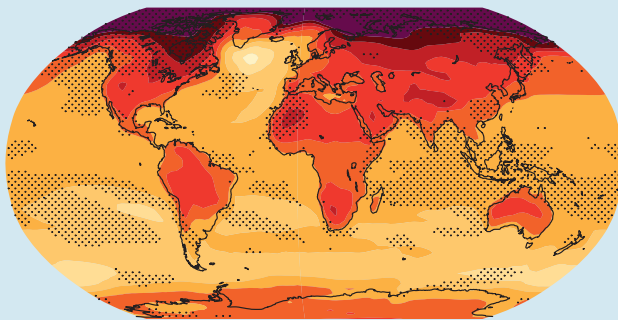
(продолжение на следующей странице)

Вставка ТР.6 (продолжение)

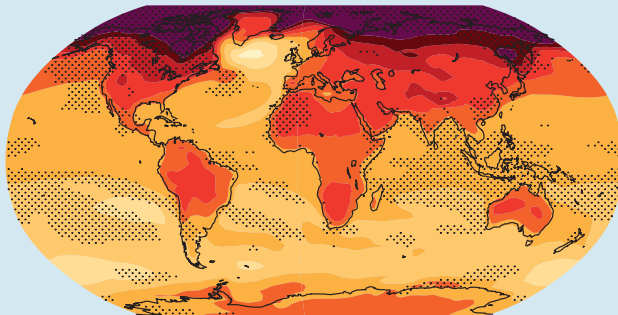
Оценка средних значений и диапазонов изменений средней глобальной температуры в Д04 не сильно отличалась бы, если бы в этом докладе использовались модели СМIP5. Различия в проекциях глобальной температуры в значительной степени можно объяснить разными сценариями. Реакция средней глобальной температуры, рассчитанная моделями СМIP3 и СМIP5, очень похожа, как в среднем, так и в модельном диапазоне, как в переходном, так и в равновесном состоянии. Диапазон изменения температуры во всех сценариях шире, поскольку РТК включают жесткий сценарий смягчения воздействий (РТК2.6), который не имел эквивалента среди сценариев СДСВ, используемых в СМIP3. Для каждого сценария 5-95-процентный диапазон проекций СМIP5 получен посредством аппроксимации распределений СМIP5 нормальным распределением с тем же средним и стандартным отклонением, и оценен как *вероятный* для проекций изменения глобальной температуры на конец XXI века. Вероятностные проекции с использованием более простых моделей, откалиброванных с целью охвата диапазона равновесной чувствительности климата, использовавшегося в Д04, показывают диапазоны неопределенности, которые согласуются с диапазонами по результатам СМIP5. В Д04 неопределенности в проекциях глобальной температуры оказались приблизительно постоянными, если выражались как часть модельного среднего потепления (постоянная относительная неопределенность). Для более высоких РТК неопределенность в настоящее время меньше, согласно оценкам, чем при использовании метода Д04, для долгосрочного изменения климата, поскольку обратные связи углеродный цикл – климат не имеют отношения к проекциям РТК, основанным на концентрациях (в отличие от этого оцененные неопределенности в проекциях глобальной температуры в Д04 учитывали обратные связи углеродный цикл – климат, даже несмотря на то, что они не были частью моделей СМIP3). Когда на МСЗ СМIP5 с интерактивным углеродным циклом воздействует сценарий РТК8.5, задаваемый выбросами CO₂, в отличие от сценария РТК8.5, задаваемого концентрациями CO₂, они демонстрируют увеличение концентраций CO₂ в атмосфере в среднем на 50 (от -140 до +210) ppm (модельный разброс СМIP5) больше, и увеличение глобальной приземной температуры на 0,2 °C больше к 2100 г. Для низких РТК относительная неопределенность больше, поскольку внутренняя изменчивость и воздействия факторов, отличных от CO₂, вносят больший относительный вклад в общую неопределенность. {12.4.1, 12.4.8, 12.4.9}

(продолжение на следующей странице)

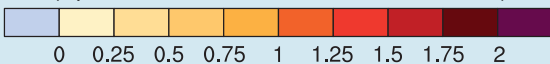
Температура, масштабируемая глобальной T (°C на °C)
СМIP3 : 2080-2099 гг.



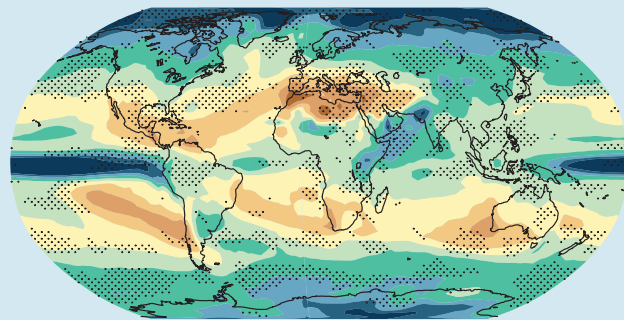
СМIP5 : 2081-2100 гг.



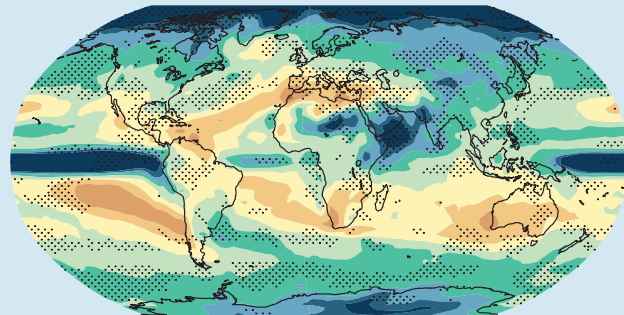
(Среднее глобальное изменение °C на °C)



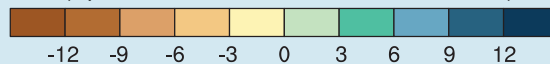
Осадки, масштабируемые глобальной T (% на °C)
СМIP3 : 2080-2099 гг.



СМIP5 : 2081-2100 гг.



(Среднее глобальное изменение % на °C)



Вставка ТР.6, рисунок 1 | Режимы температуры (левая колонка) и процентное изменение осадков (правая колонка) по среднему значению моделей СМIP3 (первый ряд) и среднему значению моделей СМIP5 (второй ряд), масштабируемых соответствующими изменениями средней глобальной температуры. В обоих случаях режимы рассчитаны путем определения разности средних значений экспериментов для последних 20 лет XXI века (2080-2099 гг. в рамках СМIP3 и 2081-2100 гг. в рамках СМIP5) и для последних 20 лет исторических экспериментов (1980-1999 гг. в рамках СМIP3, 1986-2005 гг. в рамках СМIP5) и повторного масштабирования каждой разности соответствующим изменением глобальной средней температуры. Сначала это выполняется для каждой отдельной модели, затем полученные результаты усредняются по всем моделям. Точечной штриховкой показана степень значимости разности между двумя соответствующими режимами, полученной методом бутстрепа. Два подмножества совокупности членов ансамблей СМIP3 и СМIP5 такого же размера, что и исходные ансамбли, но без отличия членов СМIP3 от членов СМIP5, случайно отбирались 500 раз. Для каждой случайной выборки рассчитаны соответствующие режимы и их разность, затем истинная разность сравнивается, последовательно в каждом узле сетки, с распределением разностей, полученных методом бутстрепа, и только узлы сетки, в которых значение разности попадает в хвосты распределения, полученного методом бутстрепа (меньше 2,5-го перцентиля или 97,5-го перцентиля), показаны штриховкой. {Рисунок 12.41}

Вставка ТР.6 (продолжение)

Существует общая согласованность между проекциями температуры и осадков в рамках CMIP3 и CMIP5, как для крупномасштабных режимов, так и для величины изменения (вставка ТР.6, рисунок 1). Согласованность и достоверность модельных проекций зависят от переменной, а также от пространственного и временного усреднения, при этом для более крупных масштабов существует большая согласованность. Степень достоверности для температуры выше, чем для величин, связанных с водным циклом или атмосферной циркуляцией. Разработаны усовершенствованные методы количественной оценки и отображения устойчивости выводов моделей для того, чтобы определить, где отсутствие согласованности между моделями по локальным трендам является результатом внутренней изменчивости, а не результатом того, что модели на самом деле не согласуются по их реакции на воздействие. Понимание источников и средств описания неопределенностей в долгосрочных крупномасштабных проекциях изменения климата не сильно изменилось с момента выхода Д04, но новые эксперименты и исследования продолжают в целях получения более полного и тщательного описания. {9.7.3, 12.2, 12.4.1, 12.4.4, 12.4.5, 12.4.9, вставка 12.1}

Прочно устоявшаяся стабильность пространственных режимов изменения температуры и осадков во время эксперимента с переходным состоянием остается справедливой для моделей CMIP5 (вставка ТР.6, рисунок 1). Режимы похожи во времени и в сценариях и, в первом приближении, могут быть масштабированы изменением средней глобальной температуры. Остаются ограничения обоснованности данной методики, когда она применяется к жестким сценариям смягчения воздействий, к сценариям, где локализованные воздействия (например, аэрозоли) являются значительными и изменяются по времени и по переменным, отличным от усредненных значений сезонной средней температуры и суммы осадков. {12.4.2}

масштабах и для переменных гидрологического цикла. Сценарии РТК не охватывают диапазон будущих выбросов аэрозолей, существующий в СДСВ и альтернативных сценариях (вставка ТР.6). {11.3.1, 11.3.6}

Если будут выполнены быстрые сокращения содержания сульфатного аэрозоля для улучшения качества воздуха или это будет сделано в рамках снижения выбросов CO₂ от сжигания ископаемого топлива, то существует *средняя степень достоверности* того, что это может привести к быстрому краткосрочному потеплению. Существует свидетельство того, что сопутствующий контроль выбросов CH₄ компенсировал бы некоторую часть этого потепления, вызванного сульфатами, хотя похолодание в результате смягчения воздействий CH₄ будет происходить медленнее, чем потепление в результате смягчения воздействий сульфата по причине различных временных масштабов, в которых концентрации этих веществ в атмосфере снижаются в ответ на снижение выбросов. Хотя удаление аэрозолей черного углерода также может препятствовать потеплению в результате удаления сульфата, неопределенности слишком велики, чтобы ограничить результирующий знак реакции глобальной температуры на сокращение выбросов черного углерода, что зависит от сокращения попутно выбрасываемых (отражающих) аэрозолей и косвенных эффектов аэрозолей. {11.3.6}

Включение неопределенностей в проекции химически активных ПГ, таких как CH₄ и N₂O, дает обширный диапазон траекторий концентраций, который, *вероятно*, на 30 % больше, чем диапазон концентраций РТК, используемых в качестве фактора внешнего воздействия на климатические модели CMIP5. Включение неопределенностей в оценки выбросов из таких источников, как сельское хозяйство, лесное хозяйство и землепользование, в сроки жизни в атмосфере и химические обратные связи, имеет своим результатом гораздо более широкий диапазон концентраций N₂O, CH₄ и ГФУ и их РВ. В случае CH₄, к 2100 г. *вероятный* диапазон концентрации CH₄ согласно однозначной РТК8.5 превысит на 520 ppb значение концентрации CH₄ согласно РТК8.5, а CH₄ в соответствии с РТК2.6 станет на 230 ppb ниже CH₄ согласно РТК2.6. {11.3.5}

Существует *очень низкая степень достоверности* в проекциях естественного воздействия. Крупные извержения вулканов вызывают отрицательное РВ до нескольких ватт на квадратный метр, при этом время жизни обычно составляет один год, но возможность и время будущих извержений неизвестны. За исключением 11-летнего солнечного цикла, изменения общего солнечного излучения неопределенны. Кроме случаев, когда это явно указано, будущие извержения вулканов и изменения общего солнечного излучения не включены в проекции краткосрочного и долгосрочного климата в дополнение к повторяющемуся 11-летнему солнечному циклу. {8, 11.3.6}

ТР.5.3 Количественная оценка реакции климатической системы

Оценки равновесной чувствительности климата (РЧК), полученные на основе наблюдаемого изменения климата, климатических моделей и анализа обратной связи, а также палеоклиматических данных, указывают на то, что РЧК является положительной, вероятно, в диапазоне от 1,5 °C до 4,5 °C с *высокой степенью достоверности*, *крайне маловероятно*, что она меньше 1 °C (*высокая степень достоверности*) и, *весьма маловероятно*, что она больше 6 °C (*средняя степень достоверности*). Чувствительность системы Земля в тысячелетнем масштабе, включая долгосрочные обратные связи, обычно не включаемые в модели, может быть значительно выше, чем РЧК (дополнительную информацию см. в ФЭТ.6). {5.3.1, 10.8; вставка 12.2}

На основе наблюдаемого изменения климата и климатических моделей существует *высокая степень достоверности* того, что переходная реакция климата (ПРК) является положительной, *вероятно*, в диапазоне от 1 °C до 2,5 °C и, *крайне маловероятно*, что она больше 3 °C (дополнительную информацию см. в ФЭТ.6). {10.8; вставка 12.2}

Отношение изменения СГПТ к общим кумулятивным выбросам углерода является относительно постоянным и не зависит от сценария, но зависит от модели, поскольку оно является функцией модельной кумулятивной атмосферной доли углерода и переходной реакции климата. Поэтому для любого заданного температурного целевого показателя повышение уровня выбросов в предыдущие десятилетия подразумевает снижение уровня выбросов примерно в том же размере в последующий период. Переходная реакция климата на кумулятивные выбросы углерода (ПРКВ) находится, *вероятно*, в диапазоне от 0,8° C до 2,5 °C на 1000 ПгC (*высокая степень достоверности*) в случае кумулятивных углеродных выбросов менее, примерно, 2 000 ПгC, и до момента достижения температурой пиковых значений (дополнительную информацию см. в ФЭТ.8). {10.8, 12.5.4; вставка 12.2}

ТР.5.4 Краткосрочное изменение климата

Краткосрочное десятилетнее предсказание климата дает информацию, которую нельзя получить с помощью существующих сезонных-межгодовых (от нескольких месяцев до одного-двух лет) предсказаний или долгосрочных (середина XXI века и последующий период) проекций изменения климата. Для прогнозирования в сезонных-межгодовых временных масштабах требуются точные оценки исходного состояния климата с меньшим акцентом

Фокусные элементы темы

ФЭТ.6 | Чувствительность климата и обратные климатические связи

Описание изменения климата как реакции на воздействие, которое усиливается обратными связями, берет свое начало много десятилетий тому назад. Концепции радиационного воздействия (РВ) и обратных климатических связей продолжают уточняться, и ограничения в настоящее время более понятны; например, обратные связи могут происходить гораздо быстрее, чем потепление поверхности, обратные связи зависят от фактора воздействия (например, парниковый газ (ПГ) в противовес солнечному воздействию) или могут иметь характерные временные масштабы (связанные в основном с изменением растительного покрова и ледяными щитами) от нескольких столетий до тысячелетий. Анализ физических обратных связей в моделях и на основе наблюдений остается мощным механизмом, налагающим ограничения на переходное будущее потепление для различных сценариев, на чувствительность климата, и в сочетании с оценками обратных связей углеродного цикла (см. ФЭТ.5) определяет выбросы ПГ, которые сопоставимы со стабилизацией климата или целевыми показателями (см. ФЭТ.8). {7.1, 9.7.2, 12.5.3, вставка 12.2}

Водяной пар/адиабатический градиент температуры, альbedo и обратные связи облачности являются основными факторами, определяющими равновесную чувствительность климата. Все эти обратные связи оцениваются как положительные, но им присвоены разные степени правдоподобия, от «вероятно» до «крайне вероятно». Таким образом, существует *высокая степень достоверности* того, что результирующая обратная связь является положительной, и реакция на воздействие будет, таким образом, сильнее, чем если бы Земля рассматривалась как абсолютно черное тело. Обратные связи облачности, по-прежнему, характеризуются наибольшей неопределенностью. Результирующая обратная связь от изменений водяного пара и адиабатического градиента температуры, *крайне вероятно*, является положительной и практически удваивает реакцию абсолютно черного тела. Среднее значение и разброс этих двух процессов в моделях климата практически не изменились по сравнению с Четвертым докладом об оценке (ДО4) МГЭИК, но это в настоящее время подтверждаются более убедительными данными наблюдений и углубленным пониманием процессов в отношении того, что определяет распределения относительной влажности. Облака реагируют на механизмы климатического воздействия весьма по-разному, и обратные связи отдельных облаков могут быть положительными или отрицательными. Ключевые вопросы включают отображение как глубокой, так и мелкой конвекции кучевых облаков, микрофизических процессов в ледяных облаках и частичной облачности, которая является результатом мелкомасштабных вариаций процессов образования и рассеивания облаков. Новые подходы к диагностике обратной связи облаков в моделях общей циркуляции (МОЦ) позволили прояснить механизм реакции облаков, при этом низкая облачность по-прежнему рассматривается в качестве важнейшего источника межмодельного разброса в моделируемых обратных связях облаков. Результирующая радиационная обратная связь, связанная с облаками всех типов, *вероятно*, является положительной. Этот вывод сделан на основании рассмотрения вероятного диапазона для неизвестных способствующих факторов в виде процессов, которые еще должны быть учтены в дополнение к тем, которые происходят в существующих климатических моделях. Наблюдения сами по себе в настоящее время не накладывают явного прямого ограничения, но множественные данные в настоящее время свидетельствуют о вкладе в положительную обратную связь со стороны как изменений высоты облаков верхнего яруса, так и изменений горизонтального распределения облаков. Дополнительная обратная связь облаков нижнего яруса также является положительной в большинстве климатических моделей, но этот результат не только не до конца понятен, но и не ограничен эффективным образом наблюдениями, поэтому *степень достоверности* этого является *низкой*. {7.2.4-7.2.6, 9.7.2}

Отображение процессов взаимодействия между аэрозолями и облаками в климатических моделях по-прежнему остается сложной задачей. Изменчивость аэрозолей и облаков в масштабах, значительно меньших, чем масштабы, представленные в климатических моделях, и едва уловимые реакции облаков на аэрозоли в этих масштабах, означают, что в обозримом будущем климатические модели будут по-прежнему опираться на параметризацию взаимосвязей между аэрозолями и облаками или другие методы, которые отображают подсеточную изменчивость. Это подразумевает наличие больших неопределенностей для оценок воздействий, связанных со взаимосвязями между аэрозолями и облаками. {7.4, 7.5.3, 7.5.4}.

Равновесная чувствительность климата (РЧК) и переходная реакция климата (ПРК) являются полезными показателями, обобщающими реакцию температуры глобальной климатической системы на РВ, обусловленное внешними факторами. РЧК определяется как равновесное изменение среднегодовой средней глобальной приземной температуры (СГПТ) в результате удвоения концентрации диоксида углерода (CO_2) в атмосфере, а ПРК определяется как изменение среднегодовой СГПТ с центром во временной точке удвоения концентрации CO_2 в результате линейного увеличения воздействия CO_2 за 70 лет (см. Глоссарий). Оба метрических показателя имеют более широкое применение, чем подразумевают эти определения: РЧК определяет возможное потепление как реакцию на стабилизацию состава атмосферы в масштабе многих столетий, в то время как ПРК определяет потепление, ожидаемое в определенный момент времени в результате неуклонного усиления воздействия во временном масштабе 50-100 лет. {Вставка 12.2, 12.5.3}

РЧК и ПРК можно оценивать на основе различных данных (ФЭТ.6, рисунки 1 и 2). Оценки могут основываться на значениях РЧК и ПРК, определенных климатическими моделями, или ограничиваться анализом обратных связей в климатических моделях, режимами среднего климата и изменчивости в моделях по сравнению с данными наблюдений, флуктуациями температуры, реконструированными на основе архивов палеоклиматической информации, (продолжение на следующей странице)

ФЭТ.1 (продолжение)

наблюдаемыми и полученными на основе модельных расчетов краткосрочными возмущениями энергетического баланса, например, вызванными извержениями вулканов, а также наблюдаемыми трендами приземной температуры и температуры поверхности океана с доиндустриального периода. Для многих применений, следует учитывать ограничения концептуальных рамок анализа «воздействие-обратная связь», зависимость обратных связей от временных масштабов и состояние климата. {5.3.1, 5.3.3, 9.7.1-9.7.3, 10.8.1, 10.8.2, 12.5.3, вставка 5.2, таблица 9.5}

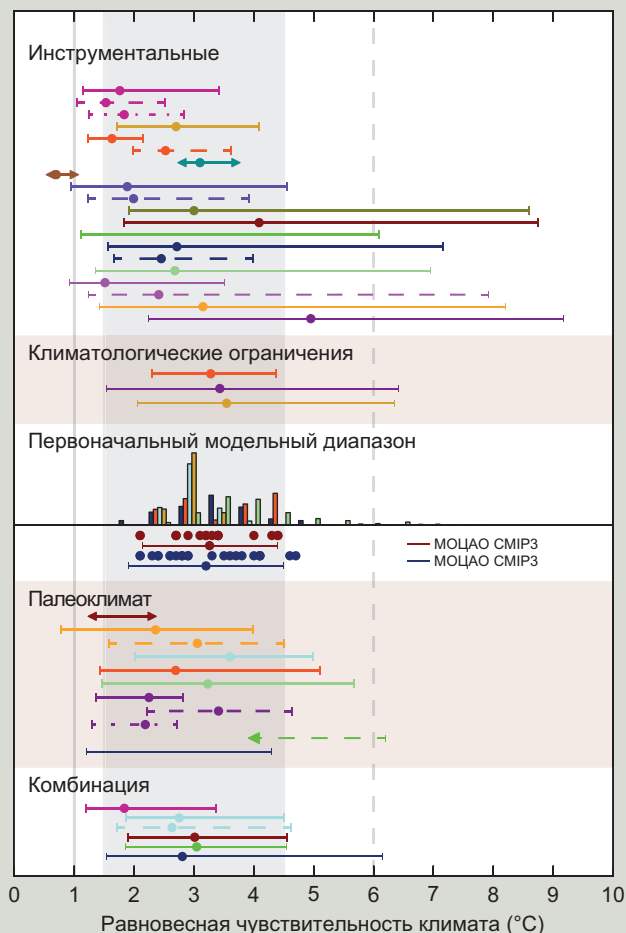
Новые исследования ограничений для РЧК основаны на наблюдаемом потеплении с доиндустриального периода, проанализированных с помощью простых моделей и моделей промежуточной сложности, улучшенных статистических методов и нескольких различных и более новых наборов данных. Вместе с ограничениями палеоклимата, но без учета данных, полученных в рамках CMIP, эти исследования показывают, что РЧК, вероятно, находится в диапазоне от 1,5 °C до 4,5 °C (средняя степень достоверности) и, крайне маловероятно, что она меньше 1,0 °C. {5.3.1, 5.3.3, 10.8.2; вставки 5.2, 12.2}

Оценки, полученные на основе моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) и анализа обратных связей, показывают диапазон от 2 °C до 4,5 °C, при этом среднее по моделям значение в рамках этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP5) составляет 3,2 °C, что аналогично CMIP3. Высокая чувствительность климата обнаружена в некоторых ансамблевых моделях с возмущенными параметрами, но недавние сравнения ансамблей с «возмущенной физикой» с наблюдаемым климатом показывают, что модели со значениями РЧК в диапазоне от 3°С до 4°С демонстрируют самые меньшие ошибки для многих полей. Связи между климатологическими величинами и чувствительностью климата часто обнаруживаются в определенной ансамблевой модели с возмущенными параметрами, но во многих случаях эти связи не являются устойчивыми в ансамблевых моделях с возмущенными параметрами на основе различных моделей или в рамках CMIP3 и CMIP5. В прошедшей оценке литературе указано, что диапазон чувствительности климата и переходных реакций климата, предусматриваемый в CMIP3 и CMIP5, нельзя значительно сузить посредством ограничения моделей наблюдениями среднего климата и изменчивости. Исследования, основанные на ансамблевых моделях с возмущенными параметрами и CMIP3, подтверждают вывод о том, что правдоподобного представления среднего климата и изменчивости очень трудно достичь при РЧК ниже 2 °C. {9.2.2, 9.7.3; вставка 12.2}

Новые оценки РЧК, полученные на основе реконструкций и модельных расчетов последнего ледникового максимума (21-19 тыс. лет назад), показывают, что значения ниже 1 °C, а также выше 6 °C, весьма маловероятны. В некоторых моделях чувствительность климата различается между теплым и холодным климатами из-за различий в представлении обратных связей облаков. Оценки чувствительности системы Земли, включая медленные обратные связи (например, ледяные щиты или растительный покров), еще труднее соотносить с климатической чувствительностью текущего состояния климата. Основные ограничения оценок РЧК на основе состояний палеоклимата включают неопределенности в косвенных данных, пространственный охват данных, неопределенности некоторых воздействий и структурные ограничения в моделях, которые используются в сравнениях модельных данных. {5.3, 10.8.2, 12.5.3}

Байесовские методы ограничения РЧК или ПРК чувствительны к предполагаемым априорным распределениям. Они могут в принципе обеспечить более узкие оценки за счет объединения ограничений со стороны наблюдаемого тренда потепления, извержения вулканов, модельной климатологии и палеоклимата, и это было сделано в некоторых исследованиях, но нет единого мнения относительно того, как это сделать надежно. Данный подход чувствителен к допущениям относительно независимости различных данных, возможности общих ошибок в моделях или оценках обратной связи, а также к допущению того, что каждый конкретный набор данных является независимым. Комбинация различных оценок в данной оценке основана на экспертном заключении. {10.8.2; вставка 12.2}

(продолжение на следующей странице)



ФЭТ.6, рисунок 1 | Функции распределения вероятностей, распределения и диапазоны равновесной чувствительности климата, на основе рисунка 10.20b, а также климатологических ограничений, указанных в Д04 МГЭИК (вставка 10.2, рисунок 1 Д04), и результатов CMIP5 (таблица 9.5). Диапазон, затененный серым цветом, показывает вероятный диапазон от 1,5 °C до 4,5 °C, серая сплошная линия - крайне маловероятно, что менее 1 °C, серая пунктирная линия - весьма маловероятно, что более 6 °C. Для прочтения всего заголовка и получения дополнительной информации см. рисунок 10.20b и главу 10 в Дополнительном материале. {Вставка 12.2, рисунок 1}

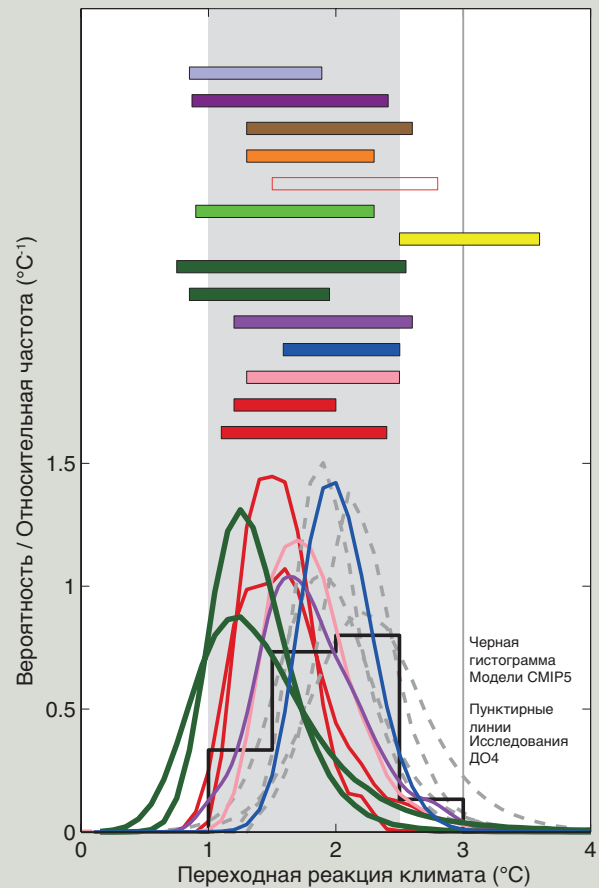
ФЭТ. 6 (продолжение)

С учетом совокупных доказательств, полученных на основе наблюдаемого изменения климата, в том числе наблюдаемого потепления в XX веке, климатических моделей, анализа обратной связи и палеоклиматической информации, о чем говорилось выше, РЧК, вероятно, находится в диапазоне от 1,5 °C до 4,5 °C с *высокой степенью достоверности*. РЧК является положительной, *крайне маловероятно*, что она меньше 1 °C (*высокая степень достоверности*), и *весьма маловероятно*, что она больше 6 °C (*средняя степень достоверности*). Хвосты распределения РЧК теперь более понятны. Различные научные данные обеспечивают *высокую степень достоверности* того, что значение РЧК менее 1 °C *крайне маловероятно*. Верхний предел *вероятного* диапазона не меняется по сравнению с ДО4. Нижний предел *вероятного* диапазона, который составляет 1,5 °C, меньше нижнего предела в ДО4, который составляет 2 °C. Это изменение отражает научные данные, полученные в результате новых исследований наблюдаемого изменения температуры с использованием расширенных рядов данных об атмосфере и океане. Эти исследования показывают лучшую согласованность с наблюдаемым потеплением поверхности и океана для значений РЧК в нижней части *вероятного* диапазона. Отметим, что эти исследования не являются наблюдениями в чистом виде, потому что им требуется оценка реакции на РВ на основе моделей. Помимо этого, неопределенность, связанная с поглощением тепла океаном, остается значительной. Учет краткосрочной изменчивости в простых моделях остается сложной задачей, и важно не придавать вес тому или иному короткому периоду времени, который может быть подвержен сильному воздействию внутренней изменчивости. С другой стороны, МОЦАО с наблюдаемой климатологией со значениями РЧК в верхней части диапазона от 1,5 до 4,5 °C показывают очень хорошую согласованность с наблюдаемой климатологией, но моделирование ключевых обратных связей, например, облаков, остается сложной задачей в этих моделях. Оценки на основе наблюдаемого потепления, палеоклиматических данных и климатических моделей согласуются в пределах их неопределенностей, при этом каждая из них подтверждается многими исследованиями и множественными наборами данных, а в их сочетании они обеспечивают *высокую степень достоверности* в отношении оцененного *вероятного* диапазона. Даже если данный оцененный диапазон аналогичен предыдущим докладам, степень достоверности сегодня намного выше благодаря высококачественным и расширенным рядам наблюдений с более четким антропогенным сигналом, лучшему пониманию процессов и все более понятным данным, полученным на основе палеоклиматических реконструкций, и улучшенным климатическими моделями с более высоким разрешением, которые охватывают еще больше процессов, отображая более реалистичную картину. Все эти научные свидетельства в отдельности обеспечивают оцененный *вероятный* диапазон от 1,5 °C до 4,5 °C. {3.2, 9.7.3, 10.8; вставки 9.2, 13.1}

В масштабе многих столетий и в более длительных временных масштабах дополнительные обратные связи с их собственными внутренними временными масштабами (например, растительный покров, ледяные щиты) могут быть важны, но обычно не моделируются в МОЦАО. Результирующая реакция равновесной температуры на удвоение концентраций CO₂ в тысячелетних масштабах времени или чувствительность системы Земля менее ограничена, но, *вероятно*, будет больше, чем РЧК, что означает, что снижение концентрации CO₂ в атмосфере сопоставимо с ограничением потепления ниже заданного уровня температуры. *Менее вероятно*, что эти медленные обратные связи пропорциональны изменению глобальной средней температуры, что означает, что чувствительность системы Земля меняется со временем. Оценки чувствительности системы Земля также трудно сопоставимы с климатической чувствительностью текущего состояния климата. {5.3.3, 10.8.2, 12.5.3}

Что касается сценариев увеличения РВ, то ПРК является более информативным показателем будущего изменения климата, чем РЧК. Эта оценка содержит вывод с *высокой степенью достоверности* о том, что ПРК, вероятно, находится в диапазоне 1 °C - 2,5 °C, близком к оцененному 5-95-процентному диапазону CMIP5 (1,2 °C - 2,4 °C), является положительной, и *крайне маловероятно*, что она больше 3°C.

(продолжение на следующей странице)



ФЭТ.6, рисунок 2 | Функции распределения вероятностей, распределения и диапазоны (5 - 95 %) для переходной реакции климата по результатам различных исследований, на основе рисунка 10.20а и результатов CMIP5 (черная гистограмма, таблица 9.5). Диапазон, затененный серым цветом, показывает *вероятный* диапазон 1 °C - 2,5 °C, серая сплошная линия - *чрезвычайно маловероятно* больше 3 °C. Для полного описания и получения подробной информации см. рисунок 10.20b и главу 10 Дополнительного материала. {Вставка 12.2, рисунок 2}

ФЭТ.6 (продолжение)

Как и в случае с РЧК, это прошедший экспертную оценку диапазон, подкрепленный несколькими различными и частично независимыми научными доказательствами, каждое из которых основано на множественных исследованиях, моделях и наборах данных. ПРК оценивается на основе наблюдаемых глобальных изменений приземной температуры, поглощения тепла океаном и РВ, включая исследования, направленные на обнаружение и объяснение причин и определение характера реакции на увеличение концентраций парниковых газов, а также результатов CMIP3 и CMIP5. Оценка ПРК сопряжена с меньшими трудностями в плане обратных связей, зависящих от состояния или от времени, и менее подвержена неопределенности в плане того, сколько энергии поглощает океан. В отличие от РЧК, диапазоны ПРК, оцененные на основе наблюдаемого потепления и на основе МОЦАО, хорошо согласуются, что повышает нашу уверенность в оценке неопределенностей в проекциях на XXI век.

Оцененные диапазоны РЧК и ПРК в значительной степени согласуются с наблюдаемым потеплением, оцененным воздействием и прогнозируемым будущим потеплением. В отличие от ДО4, РЧК не дана никакая наилучшая оценка из-за отсутствия согласованности в отношении наилучшей оценки в научных свидетельствах и исследованиях и более четкого понимания неопределенностей в оценках, полученных на основе наблюдаемого потепления. Климатические модели со значениями РЧК в верхней части *вероятного* диапазона показывают очень хорошую согласованность с наблюдаемой климатологией, в то время как оценки, полученные на основе наблюдаемого изменения климата, как правило, наилучшим образом согласуются с наблюдаемым потеплением поверхности и океана для значений РЧК в нижней части *вероятного* диапазона. В оценках, полученных на основе наблюдаемого потепления, наиболее вероятное значение чувствительно к неопределенностям наблюдений и моделей, внутренней изменчивости климата и допущениям в отношении априорного распределения РЧК. Кроме того «наилучшая оценка» и «наиболее вероятное значение» определяются по-разному в различных исследованиях. {9.7.1, 10.8.1, 12.5.3; таблица 9.5}

на изменениях внешнего воздействия¹², в то время как долгосрочные климатические предсказания в большей степени опираются на оценки внешнего воздействия с небольшим акцентом на начальном состоянии внутренней изменчивости. Оценки климата в краткосрочной перспективе зависят от неизбежного потепления (вызванного инерцией океанов по мере их реагирования на историческое внешнее воздействие), временной эволюции изменчивости климата, обусловленной воздействием внутренних факторов, и будущего пути внешнего воздействия. Краткосрочные предсказания, выпускаемые приблизительно на десять лет (рисунок TP.13), зависят в большей степени от точного отображения изменчивости климата, обусловленной воздействием внутренних факторов. {11.1, 12, 14}

Дальнейшее краткосрочное потепление в результате прошлых выбросов неизбежно в силу тепловой инерции океанов. Это потепление будет увеличиваться в связи с дальнейшими выбросами ПГ в краткосрочной перспективе, а климат, наблюдаемый в ближайшем будущем, также будет сильно зависеть от изменчивости климатической системы, обусловленной воздействием внутренних факторов. Предыдущие оценки МГЭИК описывали только те проекции изменения климата, которые включали компонент будущего климата, на который воздействуют внешние факторы, но не было предпринято ни одной попытки для инициализации изменчивости климата, обусловленной воздействием внутренних факторов. С другой стороны, десятилетние предсказания климата предназначены для предсказания как компонента будущего изменения климата, на который воздействуют внешние факторы, так и компонента, обусловленного воздействием внутренних факторов. Краткосрочные предсказания не дают подробную информацию об эволюции погоды. Вместо этого они могут обеспечивать оцененные изменения временной эволюции статистических характеристик климата в краткосрочной перспективе. {11.1, 11.2.2; вставка 11.1; ЧЗВ 11.1}

Для оценки качества прогноза используются эксперименты с ретроспективными предсказаниями. Существует *высокая степень достоверности* того, что эксперименты с ретроспективными предсказаниями с периодом прогноза до 10 лет демонстрируют хорошую оправдываемость, когда они проверяются по данным наблюдений над большими регионами планеты и по глобальному среднему. Инициализация прогнозов на основе наблюдений способствует оправдываемости предсказаний средней годовой температуры на первые два

года и оправдываемости предсказаний СГПТ и температуры над Северной Атлантикой, регионами южной части Тихого океана и тропической части Индийского океана на период до 10 лет (*высокая степень достоверности*) отчасти благодаря корректировке вынужденной реакции. Вероятностные предсказания температуры статистически достоверны (см. раздел 11.2.3 для определения достоверности) благодаря правильному отображению глобальных трендов, но все еще недостоверны в региональном масштабе, когда вероятности рассчитываются на основе мультимодельного ансамбля. Предсказания, инициализированные от периода 2000-2005 гг., улучшают оценки недавней приостановки глобального среднего температурного тренда. Предсказания осадков над континентальными районами с крупными вынужденными трендами также демонстрируют хорошую оправдываемость. {11.2.2, 11.2.3; вставка 9.2}

TP.5.4.1 Прогнозируемые краткосрочные изменения климата

Проекция климата в краткосрочной перспективе демонстрирует незначительную чувствительность к сценариям ПГ по отношению к модельному разбросу, но при этом значительную чувствительность к неопределенностям в выбросах аэрозолей, особенно в региональных масштабах и в отношении переменных гидрологического цикла. В некоторых регионах локальные и региональные реакции осадков, а также средней и экстремальной температуры на изменения в землепользовании будут значительнее, чем реакции на крупномасштабное воздействие ПГ и аэрозолей. Эти сценарии предполагают отсутствие крупных извержений вулканов, и что антропогенные выбросы аэрозолей будут быстро сокращаться в краткосрочной перспективе. {11.3.1, 11.3.2, 11.3.6}

TP.5.4.2 Прогнозируемые краткосрочные изменения температуры

В отсутствие крупных извержений вулканов, которые могут вызвать значительное, но временное похолодание, и при условии отсутствия значительных будущих долгосрочных изменений солнечной радиации, аномалия СГПТ на период 2016-2035 гг. по отношению к базовому периоду 1986-2005 гг., *вероятно*, будет находиться в диапазоне 0,3 °C - 0,7 °C (*средняя степень достоверности*). Это основано на множественных научных данных. Данный диапазон соответствует диапазону, полученному с

¹² Сезонные-межгодовые предсказания, как правило, включают влияние внешнего воздействия.

использованием 5-95-процентных модельных трендов CMIP5 на 2012-2035 гг. Также он согласуется с 5-95-процентным диапазоном CMIP5 в рамках всех четырех сценариев РТК от 0,36 °C до 0,79 °C с использованием базового периода 2006-2012 гг. после того, как верхняя и нижняя границы снижены

на 10 % с учетом свидетельства того, что некоторые модели могут быть слишком чувствительны к антропогенному воздействию (см. таблицу ТР.1 и рисунок ТР.14). {11.3.6}

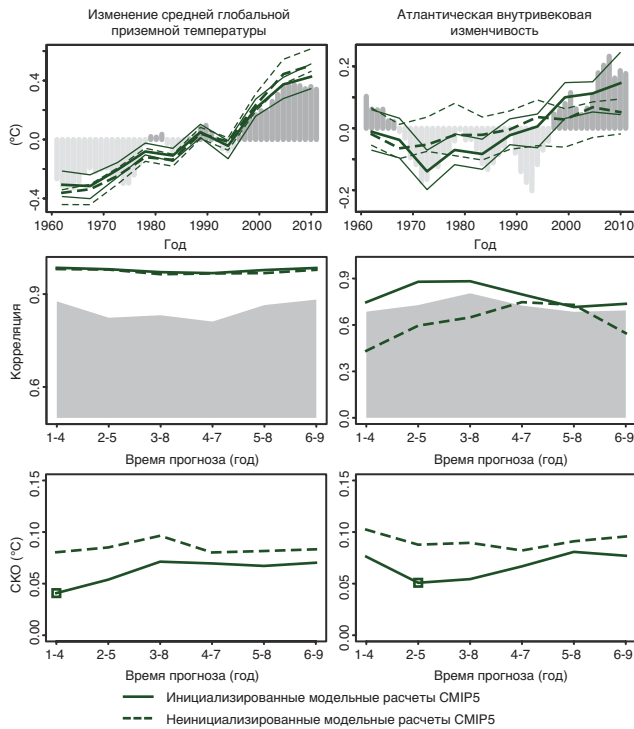


Рисунок ТР.13 | Качество десятилетних предсказаний нескольких климатических индексов. (Верхний ряд) Временные ряды осредненных за 2-5 лет средних по ансамблю аномалий ретроспективных прогнозов для экспериментов с инициализацией и соответствующих экспериментов без инициализации для трех климатических индексов: средняя глобальная приземная температура (СГПТ, слева) и Атлантическая внутривековая изменчивость (АВИ, справа). Временные ряды наблюдений, средняя глобальная температура на основе анализа приземной температуры, осуществленного в Институте космических исследований Годдарда (GISTEMP), и расширенный набор данных реконструированной температуры поверхности моря (ERSST) для АВИ показаны вертикальными столбцами темно-серого (положительные аномалии) и светло-серого цвета (отрицательные аномалии), где 4-летнее скользящее среднее применялось для обеспечения согласованности с усреднением предсказаний по времени. Прогнозируемые временные ряды показаны для инициализированных (сплошная линия) и неинициализированных (пунктирная линия) модельных расчетов в рамках CMIP5 с ретроспективными предсказаниями, начинавшимися каждые 5 лет за период 1960-2005 гг. Нижняя и верхняя квартили мультимодельного ансамбля построены с использованием тонких линий. Индекс АВИ рассчитан как аномалии температуры поверхности моря (ТПМ), усредненные по региону от экватора до 60° с.ш. и от 80° з.д. до 0° з.д., минус аномалии ТПМ, усредненные от 60° ю.ш. до 60° с.ш. Отметим, что вертикальные оси различаются для каждого временного ряда. (Средний ряд) Корреляция среднего по ансамблю прогноза с базовыми наблюдениями наряду со временем прогноза для средних четырехлетних значений трех наборов ретроспективных прогнозов CMIP5 для инициализированных (сплошная линия) и неинициализированных (пунктирная линия) экспериментов. Односторонний 95-процентный уровень доверительной вероятности с распределением Стьюдента показан серым цветом. Эффективный размер выборки рассчитан с учетом автокорреляции временных рядов наблюдений. Двусторонний критерий Стьюдента (где эффективный размер выборки рассчитан с учетом автокорреляции временных рядов наблюдений) использовался для проверки различий между корреляцией инициализированных и неинициализированных экспериментов, но не было найдено никаких статистически значимых различий с достоверностью, равной или выше 90 %. (Нижний ряд) Среднеквадратическая ошибка (СКО) среднего по ансамблю прогноза по периоду прогноза для осредненных за 4 года значений ретроспективных прогнозов CMIP5 с инициализацией (сплошная линия) и без инициализации (пунктирная линия). Двусторонний критерий Фишера (где эффективный размер выборки рассчитан с учетом автокорреляции временных рядов наблюдений) был использован для проверки соотношения между СКО в случае с инициализацией и без нее, и те времена прогноза со статистически значимыми различиями, где достоверность, равна или выше 90 %, обозначены квадратиками. (Рисунок 11.3)

Повышение концентрации ПГ и уменьшение содержания сульфатного аэрозоля приводят к большему потеплению. В краткосрочной перспективе различия в средней глобальной приземной температуре воздуха в сценариях РТК для одной климатической модели, как правило, меньше, чем в климатических моделях для одного сценария РТК. В 2030 г. медианные ансамблевые значения CMIP5 для средней глобальной температуры отличаются не более чем на 0,2 °C между сценариями РТК, в то время как модельный разброс (определен как диапазон от 17 % до 83 %) для каждого РТК составляет около 0,4 °C. Разброс между сценариями увеличивается со временем и к 2050 г. сопоставим с модельным разбросом. На региональном уровне, наибольшие различия в приземной температуре воздуха между сценариями РТК обнаруживаются в Арктике. {11.3.2. 11.3.6}

Прогнозируемый рост средней глобальной температуры означает с *высокой степенью достоверности*, что новые уровни потепления по отношению к среднему климату в 1850-1900 гг. будут превзойдены, особенно в сценариях с более высокими уровнями выбросов ПГ. По отношению к базовому периоду 1850-1900 гг., в рамках РТК4.5 или РТК6.0, *более вероятно, чем нет*, что средняя СГПТ за период 2016-2035 гг. будет более чем на 1 °C выше средней за 1850-1900 гг., и *весьма маловероятно*, что она будет более чем на 1,5°C выше средней за 1850-1900 гг. (*средняя степень достоверности*). {11.3.6}

Будущее извержение вулкана такого же масштаба, что и извержение вулкана Пинатубо в 1991 г., вызвало бы резкое падение средней глобальной приземной температуры воздуха примерно на 0,5 °C в последующем году, при этом восстановление заняло бы несколько последующих лет. Более крупные извержения или несколько извержений, произошедших близко друг к другу по времени, привели бы к более значительным и устойчивым воздействиям. {11.3.6}

Возможные будущие изменения солнечной радиации могут повлиять на темпы повышения СГПТ, но существует *высокая степень достоверности*, что такое влияние будет незначительным по сравнению с влиянием увеличения концентраций ПГ в атмосфере. {11.3.6}

Пространственные режимы краткосрочного потепления по проекциям моделей CMIP5 в соответствии со сценариями РТК (рисунок ТР.15) в целом согласуются с Д04. *Весьма вероятно*, что антропогенное потепление приземной температуры воздуха в течение следующих нескольких десятилетий будет происходить более быстрыми темпами над сушей, чем над океанами, и *весьма вероятно*, что антропогенное потепление над Арктикой в зимнее время будет сильнее, чем среднее глобальное потепление, что соответствует Д04. Что касается фоновых уровней изменчивости, обусловленной внутренними факторами, то существует *высокая степень достоверности*, что антропогенное потепление по сравнению с базовым периодом, как ожидается, будет сильнее в тропиках и субтропиках, чем в средних широтах. {11.3.2}

Вероятно, что в последующие десятилетия частота теплых дней и теплых ночей увеличится в большинстве регионов суши, в то время как частота холодных дней и холодных ночей уменьшится. Модели также показывают увеличение продолжительности, интенсивности и пространственной протяженности волн тепла и теплых периодов в ближайшей перспективе. Эти изменения могут происходить со скоростью, отличной от среднего потепления. Например, некоторые исследования показывают, что согласно проекциям высокопроцентильные летние температуры в Европе будут повышаться быстрее, чем средние температуры (см. также ФЭТ.9). {11.3.2}

ТР.5.4.3 Прогнозируемые краткосрочные изменения водного цикла

Весьма вероятно, что зональные средние осадки увеличатся в высоких и некоторых средних широтах и скорее *вероятно, чем нет*, что они

Краткосрочные проекции глобальной средней температуры по отношению к 1986-2005 гг.

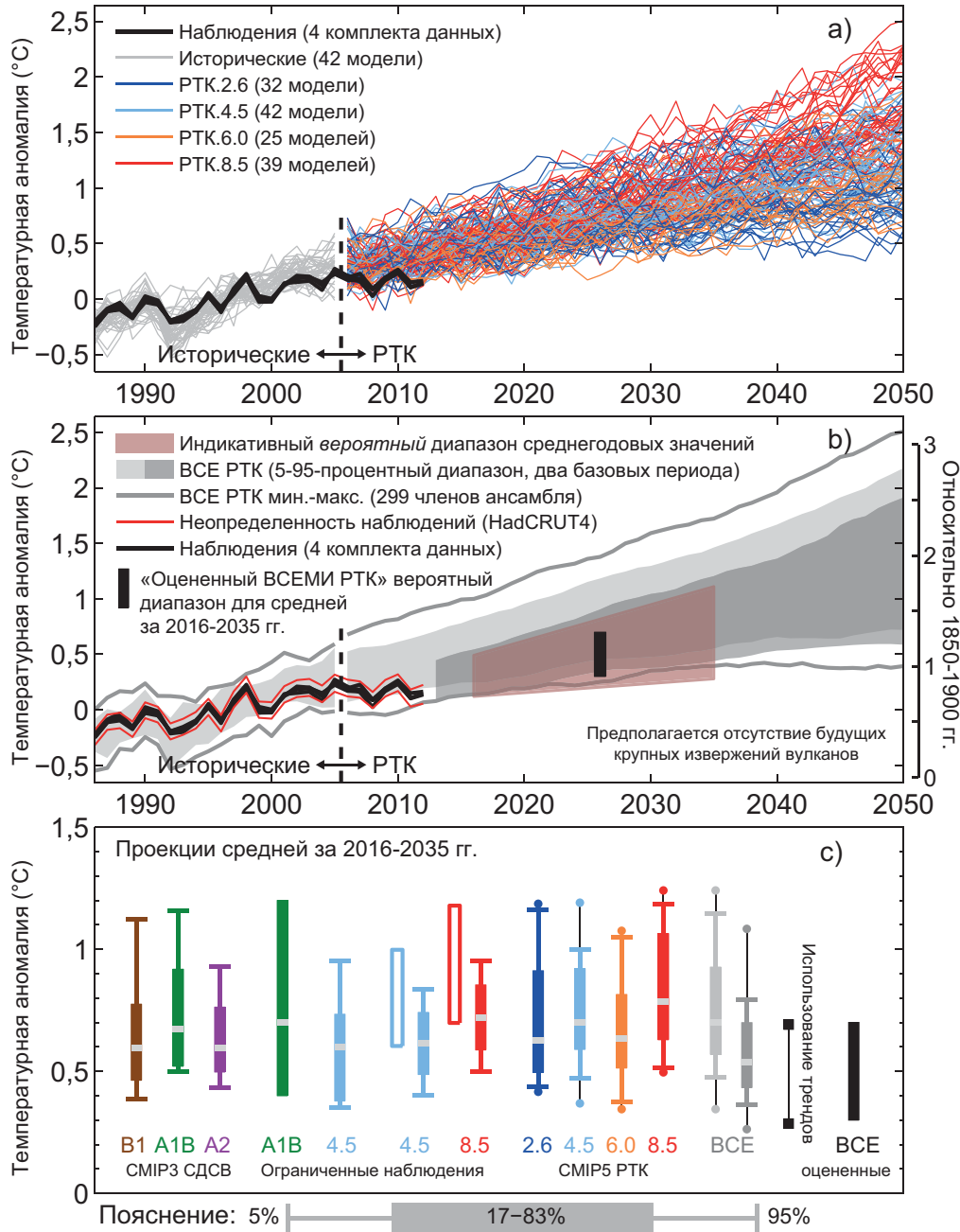


Рисунок ТР.14 | Обобщение краткосрочных проекций средней глобальной приземной температуры воздуха (СППТ). (а) Проекция среднегодовой СППТ 1986-2050 гг. (аномалии по отношению к 1986-2005 гг.) в рамках всех РТК по моделям SMIP5 (серые и цветные линии, один член ансамбля на модель), с четырьмя оценками наблюдений (четвертая версия массива сеточных данных температуры поверхности, полученных в Отделе климатических исследований Центра Хэдли (HadCRUT4); промежуточный реанализ глобальных атмосферных и приземных условий Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП) (ERA-Interim); анализ приземной температуры, выполненный в Институте космических исследований Годдарда (GISTEMP); Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы (НУОА)) за период 1986-2012 гг. (черные линии). (б) Как и (а), только показан 5-95-процентный диапазон проекций SMIP5 среднегодовой (с использованием одного члена ансамбля на модель) для всех РТК с использованием базового периода 1986-2005 гг. (светло-серое затенение) и всех РТК с использованием базового периода 2006-2012 гг., вместе с наблюдаемой аномалией для (2006-2012 гг.) минус (1986-2005 гг.) 0,16 °C (темно-серое затенение). Процентили, начиная с 2006 г., сглажены 5-летним скользящим средним для ясности. Максимальные и минимальные значения по результатам SMIP5 с использованием всех членов ансамбля и базового периода 1986-2005 гг. показаны серыми линиями (также сглажены). Черными линиями показаны среднегодовые оценки наблюдений. Заштрихованная красным область показывает индикативный вероятный диапазон для среднегодовой СППТ в период 2016-2035 гг. на основе «оцененного ВСЕМИ РТК» вероятного диапазона для 20-летней аномалии средней СППТ за 2016-2035 гг., который показан черным столбцом как в (б), так и в (с) (более подробно см. в тексте). Температурная шкала по отношению к среднему климату в 1850-1900 гг. в правой части предполагает потепление СППТ в период до 1986-2005 гг. на 0,61 °C по оценкам HadCRUT4. (с) Обобщение проекций средней аномалии СППТ на 2016-2035 гг. относительно 1986-2005 гг. Вставка и тонкие линии представляют 66-процентный и 90-процентный диапазоны. Показаны: неограниченные проекции SMIP3 СДСВ и SMIP5 РТК; ограниченные наблюдениями проекции для сценариев А1В СДСВ и РТК.4.5 и 8.5; неограниченные проекции для всех четырех сценариев РТК с использованием двух базовых периодов как в (б) (светло-серое и темно-серое затенения), в соответствии с (б); 90-процентный диапазон, оцененный с помощью трендов SMIP5 на период 2012-2035 гг., и наблюдаемая аномалия СППТ за 2012 г.; общий вероятный (> 66 %) оцененный диапазон для всех сценариев РТК. Точками для оценок SMIP5 показаны максимальные и минимальные значения с использованием всех членов ансамбля. Медианы (или оценка максимального правдоподобия; закрашенный зеленым столбец) обозначены серой полосой. (Взято из рисунка 11.25.). Для получения подробной информации см. раздел 11.3.6. (Рисунок 11.25)

уменьшатся в субтропиках. В более региональных масштабах изменения осадков могут попасть под преобладающее влияние сочетания естественной внутренней изменчивости, вулканического воздействия и антропогенных аэрозольных эффектов. {11.3.2}

В течение последующих нескольких десятилетий увеличение приземной удельной влажности *весьма вероятно*. *Вероятно* увеличение испарения во многих регионах. Существует *низкая степень достоверности* прогнозируемых изменений влажности почвы и поверхностного стока. {11.3.2}

В ближайшей перспективе частота и интенсивность сильных осадков над сушей, *вероятно*, увеличится. Эти изменения обусловлены в основном увеличением содержания водяного пара в атмосфере и влиянием изменений атмосферной циркуляции. Антропогенное воздействие в региональных масштабах менее очевидно, поскольку изменения региональных масштабов подвержены сильному влиянию естественной изменчивости, а также зависят от курса будущих выбросов аэрозолей, вулканического воздействия и изменений в землепользовании (см. также ФЭТ.9). {11.3.2}

ТР.5.4.4 Прогнозируемые краткосрочные изменения атмосферной циркуляции

Изменчивость климата, обусловленная воздействием внутренних факторов, и многие факторы радиационного воздействия (например, вулканы, ПГ, озон и антропогенные аэрозоли) вносят вклад в краткосрочные изменения атмосферной циркуляции. Например, годовая средняя циркуляция Хэдли и западные ветры в средних широтах ЮП, *вероятно*, сместятся к полюсам, в то время как прогнозируемое восстановление стратосферного озона и увеличение концентраций ПГ, *вероятно*, будут оказывать противодействующее влияние на ширину циркуляции Хэдли и меридиональное положение пути прохождения циклонов в ЮП. Таким образом, *маловероятно*, что они будут продолжать расширяться к полюсам так же быстро, как и в последние десятилетия. {11.3.2}

Существует *низкая степень достоверности* краткосрочных проекций мест прохождения и силы траекторий циклонов в ЮП. Естественная изменчивость сильнее, чем прогнозируемое воздействие ПГ в краткосрочной перспективе. {11.3.2}

Существует *низкая степень достоверности* проекций изменений интенсивности и частоты тропических циклонов во всех бассейнах к середине XXI века. *Низкая степень достоверности* отражает небольшое количество исследований, направленных на изучение активности тропических циклонов в краткосрочной перспективе, различия в опубликованных проекциях активности тропических циклонов и большую роль естественной изменчивости. Существует *низкая степень достоверности* краткосрочных проекций увеличения интенсивности тропических циклонов в Атлантике; эти проекции отчасти являются следствием прогнозируемых сокращений нагрузки аэрозолей. {11.3.2}

ТР.5.4.5 Прогнозируемые краткосрочные изменения океана

Весьма вероятно, что глобально осредненная температура поверхности и вертикально осредненная температура океана повысятся в ближайшем будущем. При отсутствии множественных крупных вулканических извержений *весьма вероятно*, что глобально осредненные температуры поверхности и осредненная по глубине температура, осредненные за 2016-2035 гг., будут выше, чем температуры, осредненные за 1986-2005 гг. {11.3.3}

Соленость, *вероятно*, повысится в тропической и (особенно) в субтропической частях Атлантики и снизится в западной тропической части Тихого океана в течение следующих нескольких десятилетий. В целом, *вероятно* частичное ослабление Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции к 2050 г. (*средняя степень достоверности*). Однако, темпы и масштабы ослабления очень неопределенны, и также ожидается, что потребуются десятилетия для усиления циркуляции. {11.3.3}

ТР.5.4.6 Прогнозируемые краткосрочные изменения криосферы

Существование практически свободного ото льда Северного Ледовитого океана (протяженность морского льда меньше 10^6 км² в течение, по крайней мере, пяти лет подряд) в сентябре *вероятно* до середины столетия согласно РТК8.5 (*средняя степень достоверности*). Такая оценка основана на расчетах подмножества моделей, которые наиболее точно воспроизводят климатологическое среднее состояние и тренд ледяного покрова Северного Ледовитого океана в 1979-2012 гг. *Весьма вероятно* дальнейшее сокращение площади и уменьшение толщины ледяного покрова Северного Ледовитого океана, и уменьшение площади снежного покрова в весеннее время и приповерхностного слоя многолетней мерзлоты в высоких широтах Северного полушария по мере повышения СГПТ (рисунки ТР.17 и ТР.18). Существует *низкая степень достоверности* прогнозируемого краткосрочного уменьшения протяженности и объема морского льда в Антарктике. {11.3.4}

ТР.5.4.7 Возможность резких краткосрочных изменений климата

Существуют различные механизмы, которые могут привести к изменениям глобального или регионального климата, которые являются резкими по сравнению с темпами, наблюдаемыми в последние десятилетия. Как правило, правдоподобие таких изменений в ближайшей перспективе ниже, чем в долгосрочной перспективе. По этой причине соответствующие механизмы оцениваются, прежде всего, в разделах ТР.5, посвященных долгосрочным изменениям, и в ФЭТ.5. {11.3.4}

ТР.5.4.8 Прогнозируемые краткосрочные изменения качества воздуха

Диапазон в проекциях качества воздуха (O_3 и $PM_{2.5}$ в приземном слое воздуха) обусловлен главным образом выбросами (включая CH_4), а не физическим изменением климата (*средняя степень достоверности*). Реакция качества воздуха на обусловленные климатом изменения более неопределенна, чем реакция на обусловленные выбросами изменения (*высокая степень достоверности*). В глобальном масштабе, потепление снижает содержание фонового приземного O_3 (*высокая степень достоверности*). Высокие уровни CH_4 (например, РТК8.5 и А2 СДСВ) могут компенсировать это уменьшение, повышая к 2100 г. фоновый приземный O_3 в среднем на 8 ppb (25 % от существующего уровня) по отношению к сценариям с небольшими изменениями CH_4 (например, РТК4.5 и РТК6.0) (*высокая степень достоверности*). В континентальном масштабе, прогнозируемые уровни загрязнения воздуха в новых сценариях РТК ниже, чем в сценариях СДСВ, поскольку СДСВ не включает законодательство о качестве воздуха (*высокая степень достоверности*). {11.3.5, 11.3.5.2, рисунки 11.22 и 11.23ab, All.4.2, All.7.1-All.7.4}

Информация, полученная на основе наблюдений и моделирования, указывает на то, что, при прочих равных условиях, более высокие приземные температуры в местном масштабе в загрязненных регионах обуславливают региональные обратные связи химии и местных выбросов, которые повысят пиковые уровни O_3 и $PM_{2.5}$ (*средняя степень достоверности*). Как известно, местные выбросы в сочетании с фоновыми уровнями и метеорологическими условиями, способствующими образованию и накоплению загрязнения, приводят к экстремальным явлениям загрязнения в местном и региональном масштабах. Существует *низкая степень достоверности* в проекциях изменений метеорологических факторов блокирования, связанных с этими экстремальными явлениями. Что касается $PM_{2.5}$, то изменение климата может изменить естественные источники аэрозолей (лесные пожары, поднимаемая ветром пыль, биогенные прекурсоры), а также вымывание осадками, но общему воздействию изменения климата на распределения $PM_{2.5}$ степень достоверности не присваивается. {11.3.5, 11.3.5.2, вставка 14.2}

ТР.5.5 Долгосрочное изменение климата

ТР.5.5.1 Прогнозируемые долгосрочные изменения глобальной температуры

Средняя глобальная температура будет продолжать повышаться в течение XXI века в рамках всех сценариев РТК. Примерно с середины XXI века темпы глобального потепления становятся более зависимыми от сценария (рисунок ТР.15). {12.4.1}

В соответствии с допущениями в сценариях РТК, задаваемых концентрациями, СГПТ за 2081-2100 гг. по сравнению с 1986-2005 гг., *вероятно*, будет находиться в 5-95-процентном диапазоне моделей СМIP5; от 0,3 °C до 1,7 °C (РТК2.6), от 1,1 до 2,6 °C (РТК4.5), от 1,4 °C до 3,1 °C (РТК6.0), от 2,6 °C до 4,8 °C (РТК8.5) (см. таблицу ТР.1). С *высокой степенью достоверности* 5-95-процентный диапазон СМIP5 оценивается, на основе оценки ПРК, скорее как *вероятный*, чем *весьма вероятный* (см. ФЭТ.6). Диапазон СМIP5 от 5 до 95 % изменения средней глобальной температуры также оценивается как *вероятный* для середины XXI века, но только со *средней степенью достоверности*. Что касается средних условий в 1850-1900 гг., то согласно проекциям усредненная глобальная температура в период 2081-2100 гг., *вероятно*, превысит на 1,5 °C значения в 1850-1900 гг. в

рамках РТК4.5, РТК6.0 и РТК8.5 (*высокая степень достоверности*) и, вероятно, превысит на 2 °C значения в 1850-1900 гг. в рамках РТК6.0 и РТК8.5 (*высокая степень достоверности*). Изменение температуры выше 2 °C по сравнению с 1850-1900 гг. в рамках РТК2.6 *маловероятно* (средняя степень достоверности). Потепление выше 4 °C к 2081-2100 гг. *маловероятно* в рамках всех РТК (*высокая степень достоверности*) за исключением РТК.5, где потепление *почти также вероятно*, как и нет (*средняя степень достоверности*). {12.4.1, таблицы 12.2, 12.3}

ТР.5.5.2 Прогнозируемые долгосрочные изменения региональной температуры

Существует *очень высокая степень достоверности* того, что глобально осредненные изменения над сушей превысят изменения над океаном в конце XXI века с коэффициентом, который, *вероятно*, будет находиться в диапазоне от 1,4 до 1,7. В отсутствие сильного замедления Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции арктический регион, по проекциям, потеплеет сильнее всего (*очень высокая степень достоверности*) (рисунок ТР.15). По мере повышения СГПТ, режим средних атмосферных зональных температур показывает потепление тропосферы и охлаждение стратосферы, что согласуется с предыдущими оценками. Согласованность особенно очевидна в тропической верхней тропосфере и северных высоких широтах. {12.4.3; вставка 5.1}

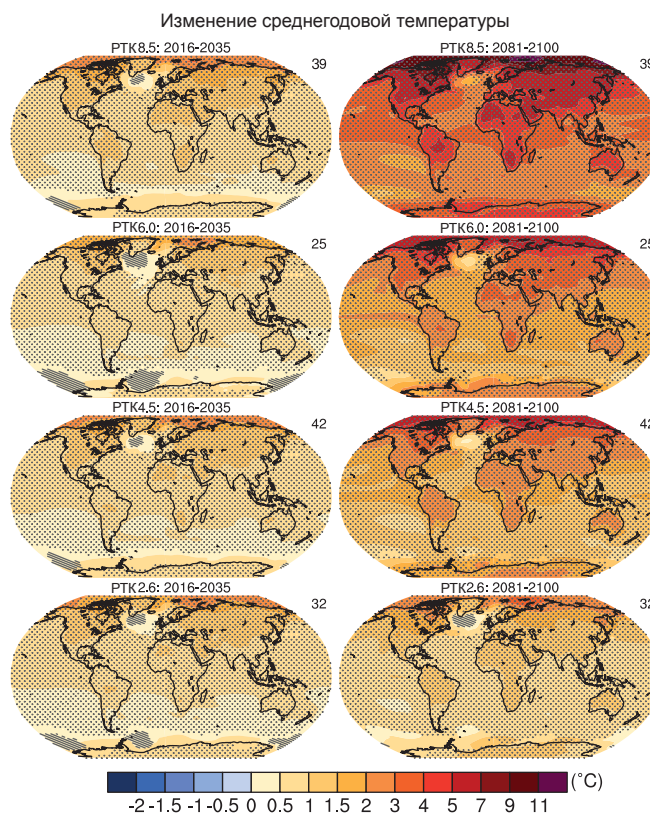
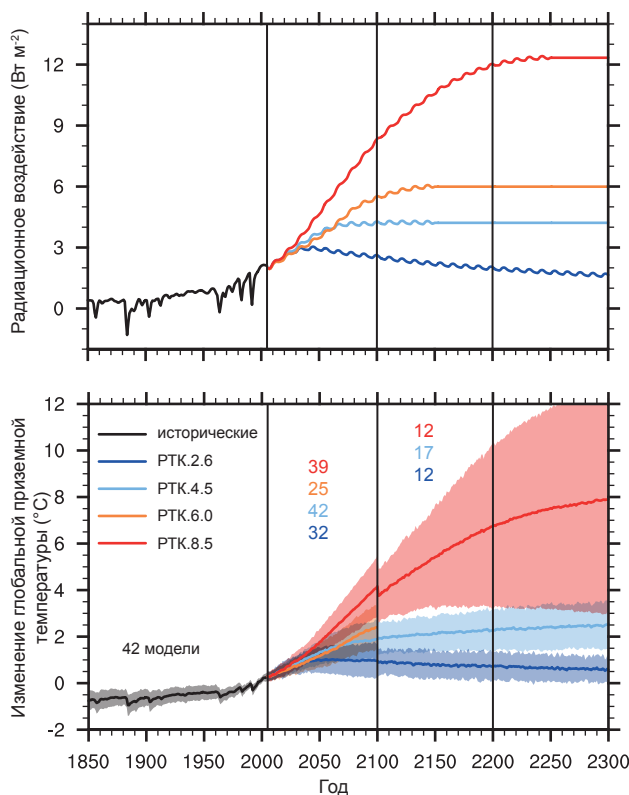


Рисунок ТР.15 | (Слева сверху) Общее среднее глобальное радиационное воздействие в рамках четырех сценариев РТК на основе энергобалансового блока Модели оценки изменения климата, вызванного парниковыми газами (MAGICC). Отметим, что текущее воздействие, рассчитанное моделями СМIP5, в разных моделях слегка различается. (Слева внизу) Временные ряды аномалий среднегодовой глобальной приземной температуры воздуха (относительно 1986-2005 гг.) по результатам экспериментов СМIP5, задаваемых концентрациями. Проекция показаны для каждого сценария РТК для мультимодельного среднего (сплошные линии) и стандартного отклонения ± 1,64 (5-95 %) в распределении отдельных моделей (затенение), на основе среднегодовых значений. Диапазон стандартного отклонения 1,64 на основе 20-летних средних значений за 2081-2100 гг., относительно 1986-2005 гг., истолковывается как *вероятные* изменения на конец XXI века. Разрывы в 2100 г. обусловлены разным количеством моделей, выполнявших дополнительные эксперименты для периода после конца XXI века, и не имеют физического смысла. Числа того же цвета, что и линии показывают количество различных моделей, вносящих вклад в различные временные периоды. Карты: среднее по мультимодельному ансамблю значение изменения средней годовой приземной температуры воздуха (относительно базового периода 1986-2005 гг.) для 2016-2035 гг. и 2081-2100 гг., в рамках сценариев РТК2.6, 4.5, 6.0 и 8.5. Штриховкой показаны регионы, в которых мультимодельный средний сигнал меньше одного стандартного отклонения внутренней изменчивости и по которым среди 90 % моделей есть согласие в отношении знака изменения. Количество используемых моделей СМIP5 показано в верхнем правом углу каждого рисунка. Более подробная информация, касающаяся соответствующих рисунков РП.7а и РП.8а, содержится в Дополнительном материале к ТР. {Вставка 12.1, рисунки 12.4, 12.5, 12.11; приложение I}

ТР

Таблица ТР.1 | Прогнозируемое изменение средней глобальной приземной температуры воздуха и повышение глобального среднего уровня моря в середине-конце XXI века по сравнению с базовым периодом 1986-2005 гг. {12.4.1; таблицы 12.2, 13.5}

		2046-2065 гг.		2081-2100 гг.	
	Сценарий	Среднее	Вероятный диапазон ^с	Среднее	Вероятный диапазон ^с
Изменение средней глобальной приземной температуры (°C)^а	РТК 2.6	1,0	0,4 - 1,6	1,0	0,3 - 1,7
	РТК 4.5	1,4	0,9 - 2,0	1,8	1,1 - 2,6
	РТК 6.0	1,3	0,8 - 1,8	2,2	1,4 - 3,1
	РТК 8,5	2,0	1,4 - 2,6	3,7	2,6 - 4,8
	Сценарий	Среднее	Вероятный диапазон ^д	Среднее	Вероятный диапазон ^д
Повышение среднего глобального уровня моря (м)^б	РТК 2.6	0,24	0,17 - 0,32	0,40	0,26 - 0,55
	РТК 4.5	0,26	0,19 - 0,33	0,47	0,32 - 0,63
	РТК 6.0	0,25	0,18 - 0,32	0,48	0,33 - 0,63
	РТК 8.5	0,30	0,22 - 0,38	0,63	0,45 - 0,82

Примечания:

^а На основе расчетов ансамбля моделей CMIP5; аномалии рассчитаны относительно 1986-2005 гг. Согласно данным ОКИ Центра Хэдли (HadCRUT4) и его оценке неопределенности (5-95-процентный доверительный интервал), наблюдаемое потепление по сравнению с базовым периодом 1986-2005 гг. составляет 0,61 [0,55-0,67] °C за период 1850-1900 гг. и 0,11 [0,09-0,13] °C за период 1980-1999 гг. - базовый период для проекций, использованных в ДО4. В данном докладе не содержится оценка *вероятных* диапазонов по сравнению с предыдущими базовыми периодами, поскольку в литературе не всегда приводятся методы объединения неопределенностей в моделях и данных наблюдений. При сложении прогнозируемых и наблюдаемых изменений не учитываются потенциальные воздействия систематических ошибок моделей по сравнению с данными наблюдений, а также естественная внутренняя изменчивость в течение базового периода наблюдений. {2.4; 11.2; таблицы 12.2 и 12.3}

^б На основе расчетов 21 модели CMIP5; аномалии рассчитаны относительно 1986-2005 гг. При отсутствии результатов моделирования в рамках CMIP5 для конкретной МОЦАО или сценария они рассчитаны в соответствии с описанием в главе 13, таблица 13.5. Вклады быстрого динамического изменения ледяных щитов и антропогенных хранилищ пресной воды на суше рассматриваются в качестве имеющих одинаковые вероятностные распределения и в значительной мере не зависящих от сценария. Подобный подход не подразумевает, что рассматриваемые воздействия не будут зависеть от соответствующего сценария, просто существующий уровень знаний не позволяет выполнить количественную оценку этой зависимости. Исходя из существующего понимания, только разрушение, если оно начнется, участков ледяного щита Антарктики, основания которых находятся ниже уровня моря, может вызвать значительное повышение среднего глобального уровня моря выше *вероятного* диапазона в XXI веке. Существует *средняя степень достоверности* того, что этот дополнительный вклад не превысит нескольких десятых метра повышения уровня моря в XXI веке.

^с Рассчитаны по проекциям как 5-95-процентные модельные диапазоны. Эти диапазоны оцениваются как *вероятные* с учетом дополнительных неопределенностей или различных степеней достоверности в моделях. В отношении проекций изменения средней глобальной приземной температуры в 2046-2065 гг. *степень достоверности* является средней, поскольку относительная важность естественной внутренней изменчивости и неопределенность в воздействии газов, не являющихся парниковыми, и в реакции на них больше, чем для 2081-2100 гг. *Вероятные* диапазоны для 2046-2065 гг. не учитывают возможное влияние факторов, которые приводят к оценке краткосрочного (2016-2035 гг.) изменения средней глобальной приземной температуры ниже 5-95-процентного модельного диапазона, поскольку из-за нехватки научных знаний количественная оценка влияния этих факторов на более долгосрочные проекции не была выполнена. {11.3}

^д Рассчитаны по проекциям как 5-95-процентные модельные диапазоны. Эти диапазоны оцениваются как вероятные с учетом дополнительных неопределенностей или различных степеней достоверности в моделях. В отношении проекций повышения среднего глобального уровня моря *степень достоверности* является средней на обоих временных горизонтах.

Практически определено можно считать, что по мере увеличения средней глобальной температуры в большинстве мест будут чаще наблюдаться экстремально высокие и реже - экстремально низкие температуры. Эти изменения ожидаются для явлений, которые определены как экстремальные явления, как в суточных, так и в сезонных временных масштабах. Ожидается увеличение частоты, продолжительности и величины экстремально высоких температур наряду с тепловыми стрессами, однако в зимнее время иногда будут по-прежнему наблюдаться экстремально низкие температуры. Согласно проекциям значения низких температур, повторяющихся один раз в 20 лет, увеличатся со скоростью большей, чем скорость увеличения средних значений зимних температур в большинстве регионов, при этом самые большие изменения будут наблюдаться в возвращаемых значениях низких температур в высоких широтах. Согласно проекциям значения высоких температур, повторяющихся один раз в 20 лет, увеличатся со скоростью равной или большей, чем скорость увеличения средних значений летних температур в большинстве регионов. Согласно РТК8.5 в большинстве районов суши наблюдающиеся сейчас с повторяемостью один раз в 20 лет высокие температуры, вероятно, будут наблюдаться чаще к концу XXI века (по крайней мере, в два раза чаще, а во многих регионах это станет происходить ежегодно или раз в два года), а наблюдающиеся сейчас с повторяемостью один раз в 20 лет низкие температуры станут крайне редкими. (См. также ФЭТ.9). {12.4.3}

Модели показывают уменьшение облачности в будущем над большей частью тропиков и средних широт в основном за счет сокращения облаков нижнего яруса. Изменения облачности морского пограничного слоя являются

наиболее неопределенными. Показано увеличение балла облачности и оптической глубины облаков и, следовательно, отражений от облаков в высоких широтах в направлении полюса от 50° широты {12.4.3}

ТР.5.5.3 Прогнозируемые долгосрочные изменения атмосферной циркуляции

Согласно проекциям давление, приведенное к среднему уровню моря, понизится в высоких широтах и повысится в средних широтах при повышении глобальной температуры. В тропиках циркуляции Хэдли и Уокера, *вероятно*, замедлятся. *Вероятны* сдвиги струйных течений в средних широтах в направлении полюсов примерно от 1 до 2 градусов широты в обоих полушариях в конце XXI века в соответствии с РТК8.5 (*средняя степень достоверности*), с более слабыми сдвигами в Северном полушарии. Летом в Южном полушарии дополнительное влияние восстановления стратосферного озона в СП препятствует изменениям, вызванным ПГ в этом месте, хотя результирующая реакция сильно варьируется в различных моделях и сценариях. Значительная неопределенность и, следовательно, *низкая степень достоверности* сохраняется в прогнозировании изменений траекторий циклонов в СП, особенно в Североатлантическом бассейне. Ячейка Хэдли, *вероятно*, расширится, что приведет к расширению тропических регионов и продвижению субтропических засушливых зон в направлении полюсов. В стратосфере циркуляция Брюера-Добсона, *вероятно*, усилится. {12.4.4}

ТР.5.5.4 Прогнозируемые долгосрочные изменения водного цикла

В планетарном масштабе, согласно проекциям, относительная влажность останется приблизительно постоянной, но удельная влажность повысится при потеплении климата. Прогнозируемое дифференциальное потепление суши и океана способствует изменениям атмосферного увлажнения, которое приводит к небольшому уменьшению приповерхностной относительной влажности над большей частью регионов суши за исключением тропической части Африки (*средняя степень достоверности*) (см. ФЭТ.1, рисунок 1). {12.4.5}

Практически определено, что в долгосрочной перспективе глобальные осадки увеличатся при повышении СГПТ. Средние глобальные осадки увеличатся со скоростью, в расчете на °C, меньшей, чем скорость увеличения содержания водяного пара в атмосфере. Они, вероятно, увеличатся на 1-3 % °C⁻¹ в рамках сценариев иных, нежели РТК2.6. В рамках РТК2.6 диапазон чувствительности в моделях СМIP5 составляет от 0,5 до 4 % °C⁻¹ в конце XXI века. {7.6.2, 7.6.3, 12.4.1}

Изменения средних осадков при потеплении мира продемонстрируют существенную пространственную вариацию согласно РТК8.5. В некоторых регионах будет наблюдаться их увеличение, а в некоторых - уменьшение, в остальных же регионах никаких существенных изменений не произойдет (см. рисунок ТР.16). Существует *высокая степень достоверности* того, что разница в среднегодовых осадках между засушливыми и влажными регионами и разница между влажным и сухим сезонами увеличится над большей частью земного шара по мере увеличения температуры. Общая картина изменения показывает, что, согласно сценарию РТК8.5, к концу этого века в высоких широтах *весьма вероятно* увеличение количества осадков в связи с увеличением удельной влажности более теплой тропосферы, а также увеличением переноса водяного пара из тропиков. По сценарию РТК8.5 к концу этого века во многих среднеширотных и субтропических засушливых

и полусушливых регионах, *вероятно*, будет меньше осадков, а во многих среднеширотных влажных регионах, *вероятно*, их будет больше. Карты изменения осадков в рамках четырех сценариев РТК представлены на рисунке ТР.16. {12.4.2, 12.4.5}

В глобальном масштабе в том, что касается кратковременных осадков, по мере повышения температуры произойдет, *вероятно*, сдвиг в сторону увеличения отдельных интенсивных циклонов и уменьшения слабых циклонов. *Весьма вероятно*, что в результате всемирного потепления экстремальные осадки над большей частью суши в средних широтах и над влажными тропическими районами будут более интенсивными и более частыми. Средняя глобальная чувствительность 20-летнего возвращаемого значения годового максимального объема суточных осадков находится в диапазоне от 4 % °C⁻¹ увеличения локальной температуры (среднее по моделям СМIP3) до 5,3 % °C⁻¹ увеличения локальной температуры (среднее по моделям СМIP5), но в региональном масштабе существуют большие вариации. {12.4.2, 12.4.5}

Согласно проекциям годовое испарение с поверхности увеличится по мере повышения глобальной температуры над большей частью океана и изменится над сушей по тому же принципу, что и осадки. *Вероятно* уменьшение годового стока в некоторых районах южной части Европы, Ближнего Востока и южной части Африки к концу этого века по сценарию РТК8.5. *Вероятно* увеличение годового стока в высоких северных широтах, соответствующее значительному увеличению осадков в зимнее и весеннее время к концу XXI века по сценарию РТК8.5. *Вероятно* уменьшение почвенной влаги и повышение риска сельскохозяйственной засухи в масштабах от регионального до глобального в засушливых в настоящее время районах, и, согласно проекциям, по сценарию РТК8.5 это произойдет со *средней степенью достоверности* к концу этого века. Значительные области прогнозируемого снижения испарения включают южную часть Африки и северо-западную часть Африки вдоль Средиземноморья. Высыхание почв в Средиземноморье

Изменение среднегодовой суммы осадков (2081-2100 гг.)

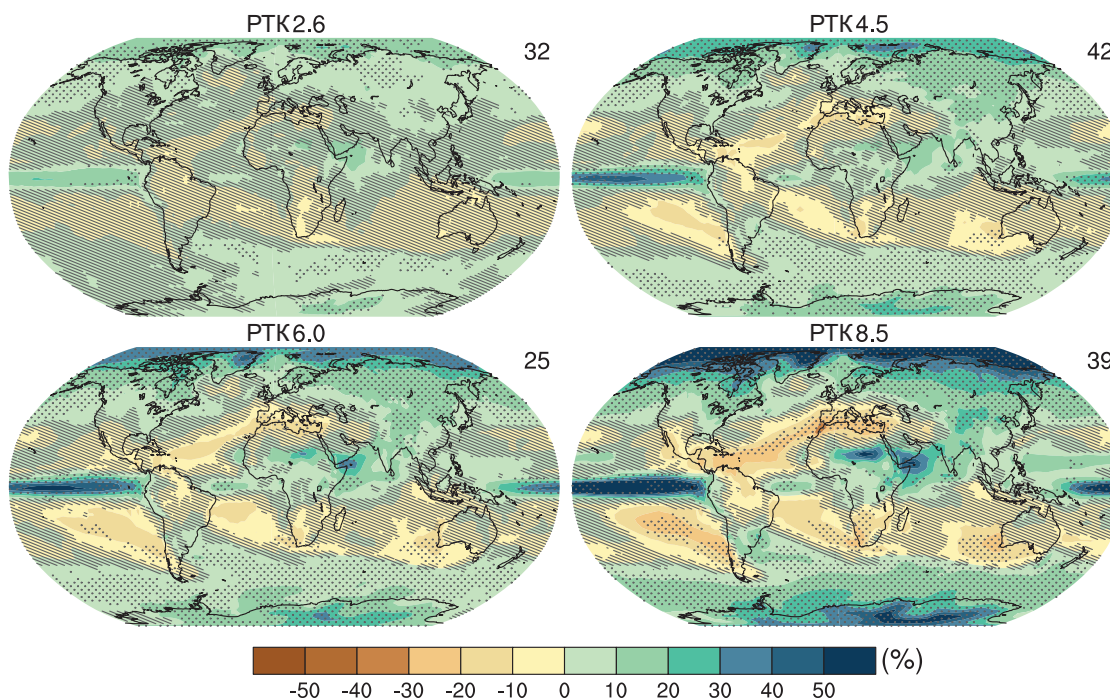


Рисунок ТР.16 | Карты результатов мультимодельных расчетов среднего процентного изменения средней суммы осадков в рамках сценариев РТК2.6, РТК4.5, РТК6.0 и РТК8.5 в 2081-2100 гг. Изменения показаны относительно 1986-2005 гг. Количество моделей СМIP5, используемых для расчета мультимодельного среднего, указано в верхнем правом углу каждого рисунка. Штриховкой показаны регионы, для которых мультимодельный средний сигнал больше одного стандартного отклонения внутренней изменчивости. Точечной штриховкой показаны регионы, для которых мультимодельный средний сигнал больше двух стандартных отклонений внутренней изменчивости и по которым среди 90 % моделей есть согласие в отношении знака изменения (см. вставку 12.1). Более подробная информация, касающаяся рисунка РП.8b, представлена в Дополнительном материале к ТР. {Рисунок 12.22; приложение }

и в южных регионах Африки согласуется с прогнозируемыми изменениями циркуляции Хэдли и повышением приземных температур, и поэтому существует *высокая степень достоверности* вероятного высыхания почв в этих регионах по мере повышения глобальной температуры к концу этого столетия согласно сценарию РТК8.5. В регионах, где прогнозируется поверхностное увлажнение, изменения, как правило, меньше естественной изменчивости в 20-летнем масштабе времени. Резюме прогнозируемых изменений водного цикла по моделям СМIP5 представлено в ФЭТ.1, рисунок 1. {12.4.5, вставка 12.1}

TR.5.5.5 Прогнозируемые долгосрочные изменения криосферы

Весьма вероятно, что ледовый покров арктических вод будет продолжать сокращаться и истончаться на протяжении всего года в XXI веке по мере повышения СППТ. В то же время в Антарктике ожидается уменьшение протяженности и объема морского льда, но с *низкой степенью достоверности*. Проекция на основе мультимодельных расчетов СМIP5 показывают среднее сокращение протяженности морского льда в Арктике в 2081-2100 гг. по сравнению с 1986-2005 гг. в диапазоне от 8 % в рамках РТК2.6 до 34 % в рамках РТК8.5 в феврале и от 43 % в рамках РТК2.6 до 94 % в рамках РТК8.5 в сентябре (*средняя степень достоверности*) (рисунок TR.17). Практически свободные ото льда воды Северного Ледовитого океана (площадь льда меньше 10^6 км^2 в течение, по крайней мере, пяти лет подряд) в сентябре до середины века *вероятны* в рамках РТК8.5 (*средняя степень достоверности*) согласно оценке подмножества моделей, которые наиболее точно воспроизводят климатологическое среднее состояние и тренд ледового покрова арктических вод в 1979-2012 гг. Некоторые климатические проекции показывают 5-10-летние периоды резкой потери летнего морского льда в Арктике, даже еще более резкой, чем наблюдалось в последние десятилетия, и такие случаи резкой потери льда, *вероятно*, будут происходить в будущем. Существующие глобальные климатические модели

не позволяют пока утверждать о существовании «переломного момента» (или критического порога), после которого произойдет переход от состояния, когда Арктический бассейн покрыт многолетними льдами, к состоянию с сезонным ледяным покровом, что приведет к непрерывным и безвозвратным потерям ледяного покрова. В Антарктике мультимодельное среднее значение СМIP5 показывает уменьшение протяженности морского льда в диапазоне от 16 % в рамках РТК2.6 до 67 % в рамках РТК8.5 в феврале и от 8 % в рамках РТК2.6 до 30 % в рамках РТК8.5 в сентябре в 2081-2100 гг. по сравнению с 1986-2005 гг. Вместе с тем, существует *низкая степень достоверности* в этих проекциях из-за широкого межмодельного разброса и неспособности практически всех существующих моделей воспроизводить общее увеличение ледового покрова антарктических вод, наблюдаемое за период спутниковых наблюдений. {12.4.6, 12.5.5}

Весьма вероятно, что площадь снежного покрова в СП сократится по мере повышения глобальных температур в XXI веке. *Практически определенно* можно говорить об отступлении многолетней мерзлоты при повышении глобальной температуры. Изменения снежного покрова происходят в результате изменений осадков и абляции, вклад которых иногда противоположен по знаку. Проекция площади, покрытой снегом, в СП в весеннее время к концу XXI века варьируются между уменьшением на 7 [3 - 10] % (РТК2.6) и 25 [18 - 32] % (РТК8.5) (рисунок TR.18), но *степень достоверности* этих величин только *средняя*, поскольку связанные со снегом процессы в глобальных климатических моделях сильно упрощены. Прогнозируемые изменения вечной мерзлоты являются реакцией не только на потепление, но и на изменения снежного покрова, который влияет на расположенный под ним слой почвы. К концу XXI века выявленная площадь верхнего слоя многолетней мерзлоты согласно проекциям сократится на 37 % (РТК2.6) – 81 % (РТК8.5) (*средняя степень достоверности*). {12.4.6}

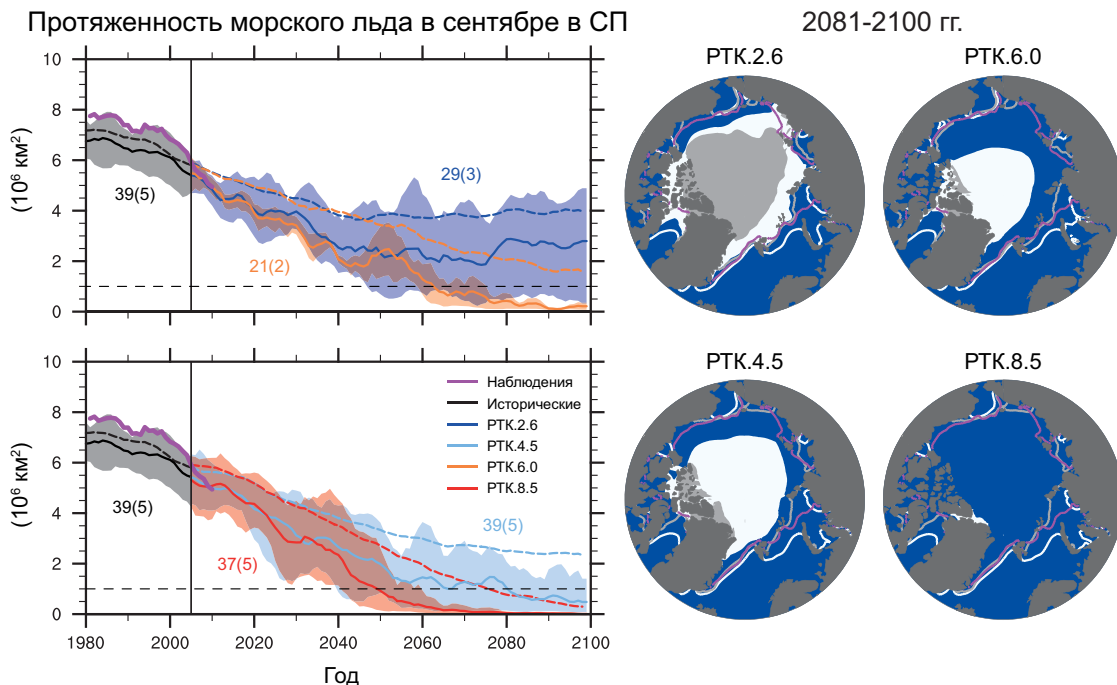


Рисунок TR.17 | Протяженность морского льда в Северном полушарии (СП) в сентябре в конце XX века и в течение всего XXI века в рамках сценариев РТК2.6, РТК4.5, РТК6.0 и РТК8.5 в моделях СМIP5, и соответствующие карты результатов мультимодельных расчетов протяженности морского льда в СП в сентябре в 2081-2100 гг. Во временных рядах указано количество моделей СМIP5, использованных для расчета мультимодельного среднего (подмножество в скобках). Временные ряды представлены как 5-летние скользящие средние. Показана прогнозируемая средняя протяженность морского льда по подмножеству моделей, которые наиболее точно воспроизводят климатологическое среднее состояние и тренд морского льда в Арктике в 1979-2012 гг. (сплошные линии), а диапазон минимальных и максимальных значений подмножества показан затенением. Черным (серое затенение) показаны результаты моделирования исторической эволюции с использованием исторических реконструированных воздействий. Мультимодельное среднее СМIP5 показано пунктирными линиями. На картах, мультимодельное среднее СМIP5 показано белым цветом, а результаты подмножества – серым цветом. Закрашенные области показывают средние значения за период 2081-2100 гг., линии показывают протяженность морского льда, усредненную за период 1986-2005 гг. Наблюдаемая протяженность морского льда показана розовым цветом в виде временного ряда и усреднена за 1986-2005 гг. в виде розовой линии на карте. Более подробная информация, касающаяся рисунков РП.7b и РП.8с, представлена в Дополнительном материале к TR. {Рисунки 12.18, 12.29, 12.31}

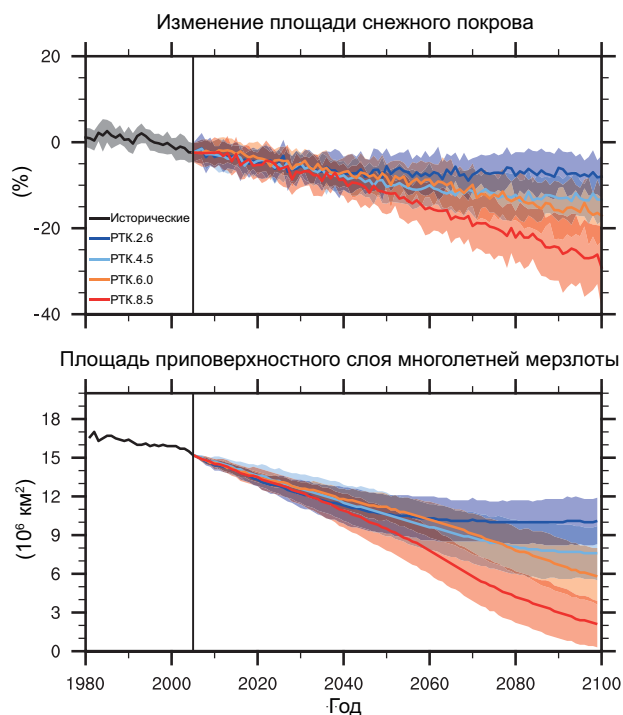


Рисунок TP.18 | (Вверху) Относительная площадь снежного покрова (ОПСР) Северного полушария (СП) в весеннее время (среднее за март-апрель), полученная в рамках СМIP5 путем деления сглаженной 5-летним осреднением модельной весенней площади снежного покрова (ПСП) на модельную среднюю весеннюю ППС для базового периода 1986 - 2005 гг. (Внизу) Выявленная площадь приповерхностного слоя многолетней мерзлоты в СП в рамках СМIP5 с использованием 20-летних среднемесячных значений приземной температуры воздуха и высоты снежного покрова. Линиями показано мультимодельное среднее, затенением показан межмодельный разброс (одно стандартное отклонение). {Рисунки 12.32, 12.33}.

TP.5.5.6 Прогнозируемые долгосрочные изменения океана

Согласно всем сценариям РТК в течение XXI века мировой океан будет нагреваться. Самое значительное потепление океана прогнозируется в поверхностном слое в субтропических и тропических регионах. На большей глубине самое заметное потепление прогнозируется в Южном океане. Согласно наилучшим оценкам, потепление верхнего 100-метрового слоя океана к концу XXI века составит от 0,6 °C (РТК2.6) до 2,0 °C (РТК8.5), а на глубине около 1 км - от 0,3 °C (РТК2.6) до 0,6 °C (РТК8.5). В соответствии с РТК4.5 к концу XXI века половина энергии, поглощаемой океаном, будет находиться в самом верхнем 700-метровом слое, а 85 % будет находиться в самом верхнем 2000-метровом слое. Вследствие длительных временных масштабов переноса тепла с поверхности на глубину, потепление океана будет продолжаться столетиями, даже если выбросы парниковых газов сократятся или концентрации будут постоянными, и оно будет продолжать вносить вклад в повышение уровня моря (см. раздел TP5. 7). {12.4.3, 12.4.7}

TP.5.6 Долгосрочные проекции углеродного и других биогеохимических циклов

Проекция глобального углеродного цикла к 2100 г. с использованием МСЗ СМIP5 представляют более широкий диапазон сложных взаимосвязей между углеродным циклом и физической климатической системой. {6}

С очень высокой степенью достоверности поглощение океаном антропогенного CO₂ будет продолжаться в рамках всех четырех сценариев РТК до 2100 г., при этом более значительное поглощение отмечается в сценариях с более высокими траекториями концентраций. Будущая эволюция поглощения углерода суши гораздо более неопределенна. Большинство

МСЗ СМIP5 показывают дальнейшее результирующее поглощение углерода наземными экосистемами до 2100 г. Однако, меньшинство моделей показывают нетто-источник выбросов CO₂ в атмосферу к 2100 г. вследствие совокупного воздействия изменения климата и изменения в землепользовании. В связи с большим разбросом результатов моделирования и неполного представления процессов, существует *низкая степень достоверности* величины смоделированных будущих изменений углерода на суше. {6.4.3}

Существует *высокая степень достоверности* того, что изменение климата частично компенсирует увеличение глобальных стоков углерода на суше и в океане, вызванное увеличением концентраций CO₂ в атмосфере. Однако существуют региональные различия между МСЗ СМIP5 в реакции потоков CO₂ на суше и в океане на климат. Существует высокая степень согласованности между моделями в отношении того, что тропические экосистемы будут хранить меньше углерода в условиях более теплого климата. Существует средняя степень согласованности между МСЗ СМIP5 в отношении того, что в высоких широтах потепление приведет к увеличению хранения углерода на суше, хотя ни одна из этих моделей не учитывает разложение углерода, хранящегося в многолетней мерзлоте, которое может компенсировать увеличенное хранение углерода на суше. Существует *высокая степень достоверности* того, что сокращение площади многолетней мерзлоты из-за потепления вызовет частичное таяние замороженного в настоящее время углерода. Вместе с тем, существует *низкая степень достоверности* потерь углерода в результате выбросов CO₂ и CH₄ в атмосферу в диапазоне от 50 до 250 ПгС в период между 2000 и 2100 гг. в рамках РТК8.5. {6.4.2, 6.4.3}

Потеря углерода замёрзшими почвами является положительным радиационным откликом, который отсутствует в существующих проекциях сопряженных МСЗ. Существует высокая степень согласованности между МСЗ СМIP5 в отношении того, что потепление океана и изменения циркуляции снизят темпы поглощения углерода в Южном океане и Северной Атлантике, и что поглощение углерода, тем не менее, продолжится в этих регионах. {6.4.2}

С учетом новых результатов экспериментов и моделирования *весьма вероятно*, что нехватка питательных веществ ограничит воздействие повышения концентрации CO₂ в атмосфере на будущие стоки углерода на суше в рамках четырех сценариев РТК. Существует *высокая степень достоверности* того, что низкое содержание азота ограничит хранение углерода на суше даже с учетом отложения антропогенного азота. Роль ограничения фосфора является более неопределенной. {6.4.6}

Что касается расчетов МСЗ, задаваемых концентрациями CO₂, то представление углеродного цикла на суше и в океане позволяет выполнить количественную оценку выбросов от сжигания ископаемого топлива, сопоставимую со сценариями РТК. В период между 2012 и 2100 гг. результаты расчетов МСЗ указывают на кумулятивные сопоставимые выбросы от сжигания ископаемого топлива на уровне 270 [140 - 410] ПгС в рамках РТК2.6, 780 [595 - 1005] ПгС в рамках РТК4.5, 1060 [840 - 1250] ПгС в рамках РТК6.0 и 1685 [1415 - 1910] ПгС в рамках РТК8.5 (значения, указанные с точностью до 5 ПгС ± одно стандартное отклонение, получены по результатам модельных расчетов СМIP5) (рисунок TP.19). В рамках сценария РТК2.6 модели показывают в среднем 50-процентное (диапазон от 14 до 96 %) сокращение выбросов к 2050 г. по сравнению с уровнями 1990 г. К концу XXI века около половины моделей показывают уровень выбросов чуть выше нуля, в то время как другая половина показывает результирующее удаление CO₂ из атмосферы. (См. также вставку TP.7). {6.4.3; таблица 6.12}

Когда в моделях МСЗ СМIP5 с интерактивными углеродными циклами действует сценарий РТК8.5, задаваемый выбросами CO₂, в отличие от сценария РТК8.5, задаваемого концентрациями CO₂, они демонстрируют увеличение концентраций CO₂ в атмосфере в среднем на 50 (от -140 до +210) ppm больше и увеличение глобальной приземной температуры на 0,2 (от -0,4 до 0,9) °C больше к 2100 г. (модельный разброс СМIP5). {12.4.8}

Установлено практически определено, что увеличение объемов углерода в океане повысит уровень закисления в будущем в продолжение наблюдаемых трендов прошлых десятилетий. Закисление океана в поверхностном слое будет следовать за ростом CO₂ в атмосфере и также будет усиливаться в глубинном слое океана по мере дальнейшего проникновения CO₂ в глубоководную зону. Модели CMIP5 последовательно прогнозируют усиление закисления мирового океана к 2100 г. в рамках всех сценариев

РТК. Соответствующее уменьшение pH поверхности океана к концу XXI века составляет 0,065 (0,06 - 0,07) в рамках РТК2.6, 0,145 (0,14 - 0,15) в рамках РТК4.5, 0,203 (0,20 - 0,21) в рамках РТК6.0 и 0,31 (0,30 - 0,32) в рамках РТК8.5 (модельный разброс CMIP5) (рисунок TP.20). Согласно проекциям, поверхностные воды станут сезонно агрессивными для арагонита в некоторых частях Арктики и в некоторых прибрежных системах апвеллинга в течение десятилетия, а в некоторых частях Южного океана - в течение

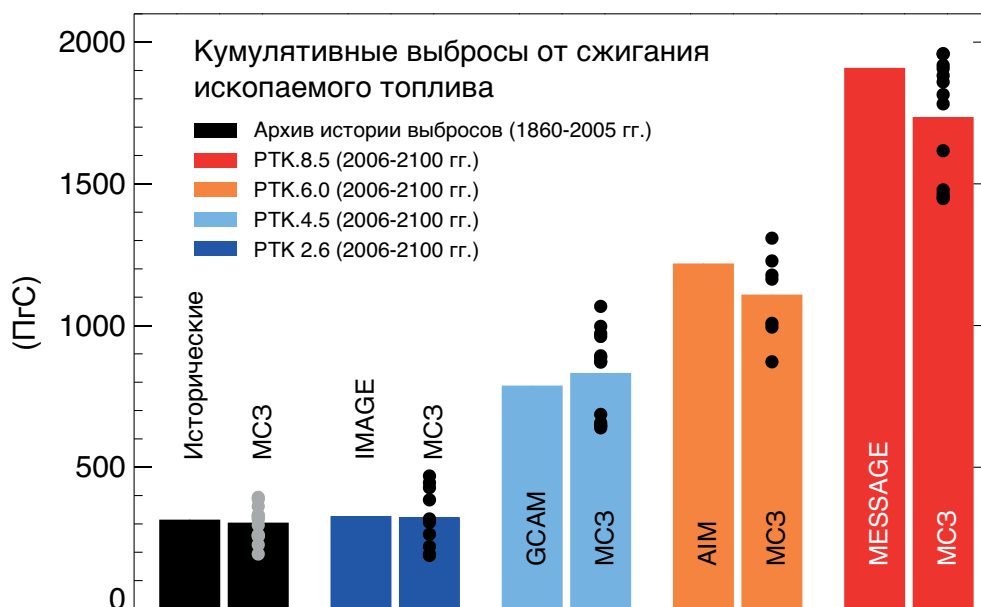
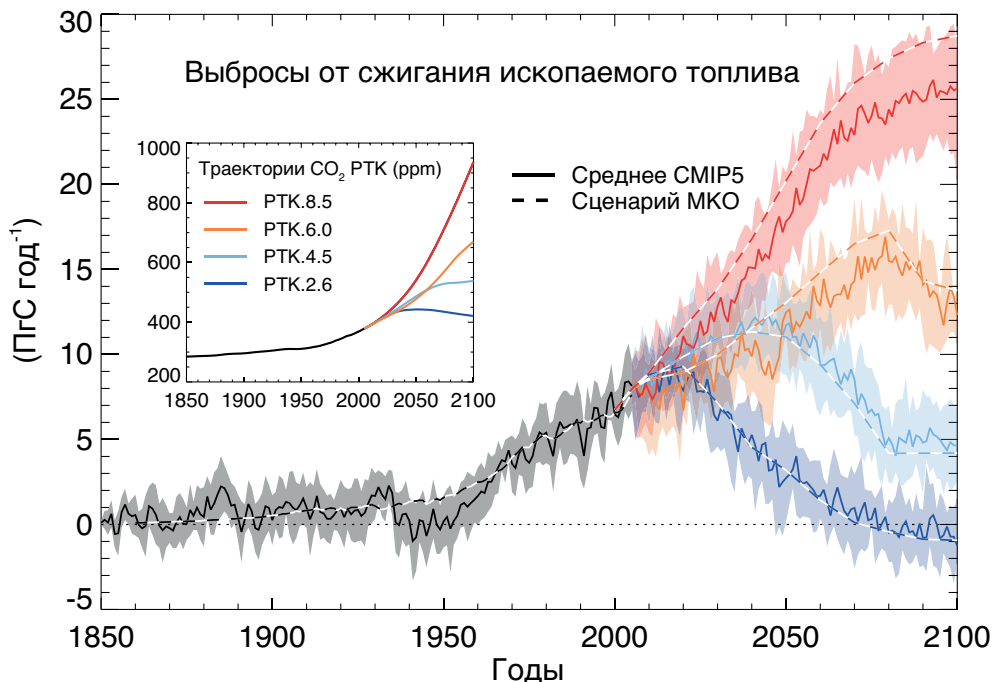


Рисунок TP.19 | Сопоставимые выбросы от сжигания ископаемого топлива, рассчитанные по моделям CMIP5, в рамках четырех сценариев РТК. (Вверху) Временные ряды годовых выбросов (ПгС год⁻¹). Пунктирными линиями показаны исторические оценки и выбросы РТК, рассчитанные моделями комплексной оценки (МКО), используемыми для определения сценариев РТК, а сплошными линиями и шлейфами показаны результаты моделей системы Земля CMIP5 (МС3, модельное среднее, с одним стандартным отклонением, затенение). (Внизу) Кумулятивные выбросы за исторический период (1860-2005 гг.) и для XXI века (определен в CMIP5 как 2006-2100 гг.) для исторических оценок и сценариев РТК. Левые столбцы показывают кумулятивные выбросы по результатам расчетов МКО, правые столбцы показывают мультимодельную среднюю оценку МС3 CMIP5, а точками обозначены результаты отдельных МС3. По результатам расчетов МС3 CMIP5 общее содержание углерода в системе суша-атмосфера-океан можно отслеживать, и изменения общего содержания должны соответствовать выбросам от сжигания ископаемого топлива в систему. Таким образом, сопоставимые выбросы представлены кумулятивными выбросами = $\Delta C_A + \Delta C_L + \Delta C_O$, а интенсивность выбросов = $d/dt [C_A + C_L + C_O]$, где C_A , C_L , C_O – это углерод, хранящийся в атмосфере, на суше и в океане соответственно. Другие источники и стоки CO₂ такие, как вулканические процессы, седиментация или выветривание горных пород, которые являются незначительными в столетнем масштабе, здесь не рассматриваются. {Вставка 6.4, рисунок 6.25}

одного-трех десятилетий в рамках большинства сценариев. Арагонит - это менее устойчивая форма карбоната кальция; недонасыщение становится широко распространенным в этих регионах при уровнях CO_2 в атмосфере от 500 до 600 ppmt. {6.4.4}

Весьма вероятно, что содержание растворенного кислорода в океане уменьшится на несколько процентов в течение XXI века в результате потепления поверхности. Модели CMIP5 указывают на то, что уменьшение содержания растворенного кислорода будет происходить преимущественно в подповерхностном слое океана в средних широтах в результате усиления

стратификации, уменьшения вентиляции и потепления. Вместе с тем, нет консенсуса в отношении будущего объема гипоксических и субоксических вод в открытом океане из-за больших неопределенностей в потенциальных биогеохимических эффектах и в эволюции динамики тропической зоны океанов. {6.4.5}

Углеродный цикл в океане и на суше, с *очень высокой степенью достоверности*, будет продолжать реагировать на изменение климата и увеличение CO_2 в атмосфере, которые происходят в течение XXI века (См. ФЭТ.7 и ФЭТ 8). {6.4}

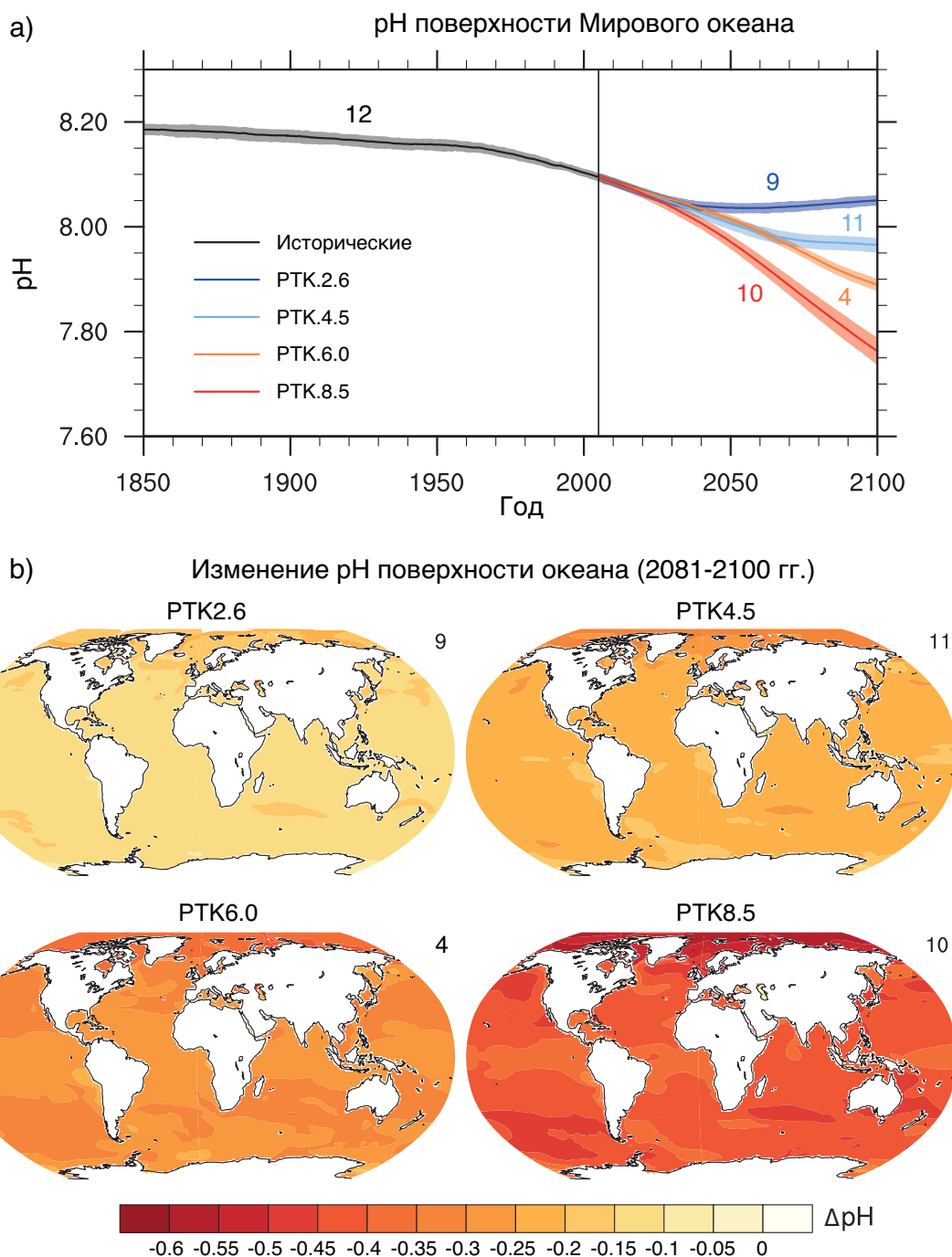


Рисунок ТР.20 | а) Временные ряды (модельные средние значения и диапазоны минимальных и максимальных значений) и (b) карты мультимодельных расчетов pH поверхности океана в рамках сценариев РТК 2.6, РТК 4.5, РТК 6.0 и РТК 8.5 в 2081-2100 гг. Карты в (b) показывают изменение pH поверхности мирового океана в 2081-2100 гг. по отношению к 1986-2005 гг. Количество моделей CMIP5, использованных для расчета мультимодельного среднего, указано в верхнем правом углу каждого рисунка. Дальнейшая информация, касающаяся рисунков РП.7с и РП.8.d, представлена в Дополнительном материале к ТР. {Рисунок 6.28}6.28}

Фокусные элементы темы

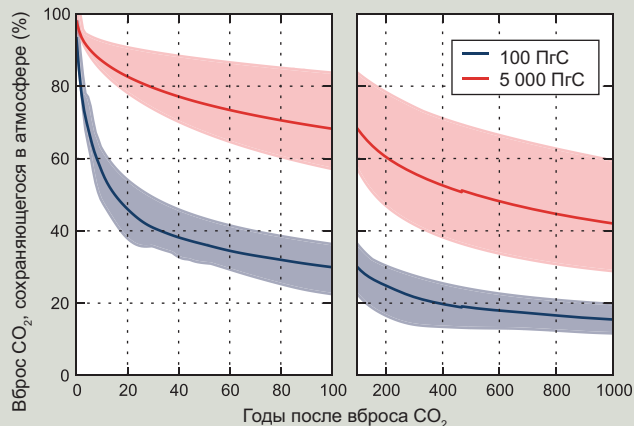
ФЭТ.7 | Возмущение и неопределенности углеродного цикла

Возмущение естественного углеродного цикла происходит с начала промышленной революции (примерно 1750 г.) в связи с антропогенным высвобождением диоксида углерода (CO_2) в атмосферу практически полностью в результате сгорания ископаемого топлива и изменений в землепользовании, с небольшой долей от производства цемента. Сжигание ископаемого топлива - это процесс, связанный с производством энергии. Ископаемый углерод образуется из геологических отложений угля, нефти и газа, которые залегают в земной коре в течение миллионов лет. Выбросы CO_2 в результате изменений в землепользовании связаны с преобразованием природных экосистем в управляемые экосистемы для целей производства продовольствия, кормов и древесины, при этом CO_2 выбрасывается при сжигании растительного материала или при разложении отмерших растений и органического почвенного углерода. Например, когда лес очищается, растительный материал может выбрасываться в атмосферу быстро в результате сжигания или в течение многих лет в результате самостоятельного гниения отмершей биомассы и почвенного углерода. {6.1, 6.3; таблица 6.1}

Вызванный деятельностью человека избыток CO_2 в атмосфере частично удаляется из атмосферы стоками углерода в наземных экосистемах и в океане, оставляя в настоящее время в атмосфере менее половины выбросов CO_2 . Природные стоки углерода образуются в результате физических, биологических и химических процессов, происходящих в различных временных масштабах. Избыток CO_2 в атмосфере обеспечивает фотосинтетическую фиксацию CO_2 растениями, и он сохраняется в виде растительной биомассы или в почве. Время задержания накопленного углерода на суше зависит от того, где он хранится (растения/почва), и состава органического углерода, при этом временные масштабы варьируются от нескольких дней до нескольких столетий. Увеличение хранения в наземных экосистемах, не затронутых изменениями в землепользовании, *вероятно*, вызвано усилением фотосинтеза при более высоких уровнях CO_2 и осаждением азота, а также изменениями климата, благоприятствующими стокам углерода, например, большая продолжительность вегетационного периода в средних-высоких широтах. {6.3, 6.3.1}

Поглощение антропогенного CO_2 океаном – это прежде всего реакция на увеличение CO_2 в атмосфере. Избыточный атмосферный CO_2 , поглощаемый поверхностью океана или переносимый к океану водными системами (например, реки, подземные воды), залегают в прибрежных отложениях или переносится в глубинные воды, где хранится от нескольких десятилетий до нескольких столетий. Углерод в глубинных водах океана может растворять отложения карбоната в океане, в результате чего избыток CO_2 хранится во временных масштабах от столетий до тысячелетий. В масштабе одного тысячелетия оставшаяся атмосферная доля выбросов CO_2 будет составлять от 15 до 40 %, в зависимости от количества высвобожденного углерода (ФЭТ.7, рисунок 1). В геологических временных масштабах от 10 тысяч лет или дольше дополнительный CO_2 удаляется из атмосферы очень медленно за счет выветривания горных пород, доводя оставшуюся долю CO_2 в атмосфере до 10-25 % через 10 тыс. лет. {Вставка 6.1}

Реакция углеродного цикла на будущие изменения климата и CO_2 может рассматриваться в качестве двух видов сильной и противоположенной обратной связи. Обратная связь «концентрация-углерод» определяет изменения в хранении в связи с повышением концентрации CO_2 , а обратная связь «климат-углерод» определяет изменения в хранении в связи с изменениями климата. Существует *высокая степень достоверности* того, что увеличение концентрации CO_2 в атмосфере приведет к увеличению поглощения углерода сушей и океаном, но в неопределенном объеме. Модели демонстрируют согласованность относительно положительного знака реакции суши и океана на рост концентрации CO_2 , но при этом показывают только среднюю и низкую степень согласия относительно величины поглощения углерода океаном и сушей соответственно (ФЭТ.7, рисунок 2). Будущее изменение климата будет способствовать уменьшению поглощения углерода сушей и океаном по сравнению со случаем неизменного климата (*средняя степень достоверности*). Это также подтверждается данными палеоклиматических наблюдений и результатами моделирования, указывающими на то, что существует положительная обратная связь между климатом и углеродным циклом во временных масштабах от столетия до тысячелетия. Модели демонстрируют согласованность относительно глобально отрицательного знака реакции суши и океана на изменение климата, но показывают низкую степень согласованности относительно масштаба этой реакции, особенно реакции суши (ФЭТ.7, рисунок 2). Основным усовершенствованием с момента выхода Четвертого доклада об оценке (ДО4) МГЭИК является включение динамики питательных веществ в некоторые модели углерода в наземных системах, в частности, ограничений роста растений, обусловленных наличием азота.

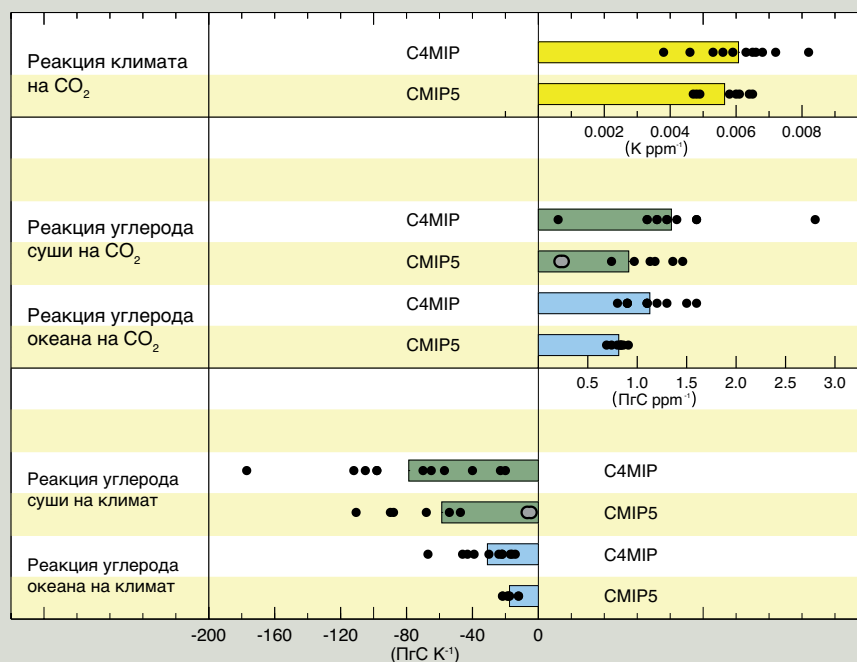


Тб.7, рисунок 1 | Процент начального возмущения содержания CO_2 в атмосфере, сохраняющийся в атмосфере при идеализированном мгновенном вбросе CO_2 в год 0; рассчитан рядом сопряженных моделей «климат-углеродный цикл». Мультимодельное среднее (линия) и интервал неопределенности (максимальный модельный диапазон, затенен), рассчитанные для 100 лет (слева) и 1 тыс. лет (справа) после мгновенного вброса 100 ПгС (синий цвет) и 5000 ПгС (красный цвет). {Вставка 6.1, рисунок 1}

(продолжение на следующей странице)

ФЭТ.7 (продолжение)

Существует *высокая степень достоверности* того, что в глобальном масштабе в сравнении с моделями системы Земля (МСЗ), включающими только углерод, в рамках этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей (СМIP5), МСЗ СМIP5, включающие азотный цикл на суше, ослабят силу как обратной связи «концентрация-углерод», так и обратной связи «климат-углерод» наземных экосистем (ФЭТ.7, рисунок 2). Включение процессов азотного цикла увеличивает разброс по ансамблю моделей СМIP5. Разброс СМIP5 относительно чувствительности океана к CO_2 и климату оказывается меньше по сравнению с ДО4 (ФЭТ.7, рисунок 2). {6.2.3, 6.4.2}



Тб.7, рисунок 2 | Сравнение показателей обратной связи углеродного цикла между ансамблем из семи моделей общей циркуляции (МОЦ) и четырех моделей системы Земля промежуточной сложности (МСЗПС) во время ДО4 (Проект по сравнению сопряженных моделей «углеродный цикл-климат» (С⁴МIP)) в рамках сценария А2 СДСВ и восемью моделями СМIP5 в рамках сценария увеличения содержания CO_2 на 1 % в год в течение 140 лет. Черные точки показывают один модельный расчет, а цветные полоски показывают средние результаты мультимодельных расчетов, серые точки использованы для моделей, которые совмещены с наземным циклом азота. Сравнение с моделями С⁴МIP используется для контекста, но известно, что эти показатели являются переменными в разных сценариях и темпах изменения (см. раздел 6.4.2). Сценарий А2 СДСВ ближе по темпам изменения к сценарию увеличения содержания CO_2 на 0,5 % в год, и соответственно следует ожидать, что показатели чувствительности системы «климат-углерод» СМIP5 будут сопоставимы, но показатели чувствительности системы «концентрация-углерод», *вероятно*, будут примерно на 20 % меньше в рамках СМIP5, чем в рамках С⁴МIP из-за отставания в способности суши и океана реагировать на более высокие темпы увеличения содержания CO_2 . Такая зависимость от сценария понижает степень достоверности любых количественных утверждений относительно того, насколько обратные связи углеродного цикла в рамках СМIP5 отличаются от С⁴МIP. {Рисунок 6.2.1}

Существует *очень высокая степень достоверности* в отношении того, что поглощение океаном антропогенных выбросов CO_2 будет продолжаться согласно всем четырем сценариям репрезентативных траекторий концентраций (РТК) до 2100 г., при этом более значительное поглощение отмечается в сценариях с более высокими концентрациями. Будущая эволюция поглощения углерода суши гораздо более неопределенна, при этом большинство моделей показывают дальнейшее результирующее поглощение углерода в рамках всех РТК, но некоторые модели показывают результирующую потерю углерода суши из-за совокупного воздействия изменения климата и изменений в землепользовании. В связи с большим разбросом модельных результатов и неполным представлением процессов, существует *низкая степень достоверности* масштаба будущих смоделированных изменений углерода в наземных системах. {6.4.3, рисунок 6.2.4}

Биогеохимические циклы и обратные связи, иные нежели углеродный цикл, играют важную роль в будущем климатической системы, хотя углеродный цикл является самым значительным из них. Изменения азотного цикла, помимо взаимодействия с источниками и стоками CO_2 , воздействуют на выбросы закиси азота (N_2O) из источников на суше и в океане. Вызванное деятельностью человека образование химически активного азота неуклонно возрастало в течение последних двух десятилетий с преобладанием производства аммиака для удобрений и промышленности, включая важный вклад от выращивания бобовых растений и сжигания ископаемых видов топлива. {6.3}

Вместе с тем, многие процессы пока не представлены сопряженными моделями «климат-биогеохимия» (например, другие процессы, включающие другие биогенные элементы, такие как фосфор, кремний и железо), поэтому их величину приходится оценивать с помощью сторонних или более простых моделей, которые затрудняют их количественную оценку. Взаимодействия между многими этими процессами, *вероятно*, будут нелинейными, но их количественная оценка еще недостаточно хорошо выполнена. Поэтому любая оценка будущих обратных связей между климатом и биогеохимическими циклами все еще содержит большую неопределенность. {6.4}

Вставка ТР.7 | Методы климатического геоинжиниринга

Геоинжиниринг определяется как целенаправленное широкомасштабное вмешательство в систему Земля с целью противодействия нежелательным воздействиям изменения климата на планету. Удаление диоксида углерода (УДУ) направлено на то, чтобы замедлить или возможно повернуть вспять прогнозируемое увеличение будущих концентраций CO_2 в атмосфере, ускоряя естественное удаление атмосферного CO_2 и увеличивая хранение углерода на суше, в океане и в геологических резервуарах. Регулирование солнечной радиации (РСР) направлено на противодействие потеплению, связанному с повышением концентраций ПГ, посредством сокращения количества солнечного света, поглощаемого климатической системой. Связанная с этим методика направлена на преднамеренное уменьшение парникового эффекта в климатической системе посредством изменения облачности верхнего яруса. {6.5, 7.7, ЧЗВ 7.3}

Методы УДУ могут обеспечить смягчение воздействий изменения климата, если можно будет снизить содержание CO_2 , но существуют неопределенности, побочные эффекты и риски, и реализация УДУ будет зависеть от степени технологического развития, а также от экономических, политических и этических соображений. *Вероятно*, УДУ понадобится бы задействовать в крупном масштабе и, по меньшей мере, в течение одного столетия, чтобы значительно сократить концентрации CO_2 . В настоящее время существуют биогеохимические и технологические ограничения, которые затрудняют проведение количественной оценки потенциала УДУ. *Практически определено* утверждается, что удаление CO_2 из атмосферы посредством УДУ будет частично компенсировано за счет удаления CO_2 , хранившегося ранее в углеродных резервуарах в океане и на суше. Некоторые климатические и экологические побочные эффекты методов УДУ связаны с изменением альbedo поверхности из-за облесения, уменьшением содержания кислорода в океане в результате избытка органических веществ и увеличения выбросов N_2O . Методы УДУ на суше, возможно, столкнутся с противодействием из-за недостатка земель. *Степень достоверности* эффективности методов УДУ и их побочных воздействий на углеродный и другие биогеохимические циклы является *низкой*. {6.5; вставка 6.2; ЧЗВ 7.3}

Методы РСР остаются нереализованными и непроверенными, но если они реализуемы, они могли бы компенсировать повышение глобальной температуры и некоторые его воздействия. Существует *средняя степень достоверности* того, что РСР при помощи введения стратосферных аэрозолей можно масштабировать, чтобы противодействовать РВ и некоторым климатическим последствиям, ожидаемым от двукратного увеличения концентрации CO_2 . Отсутствует единое мнение относительно того, можно ли достигнуть близкого по величине РВ в результате РСР при помощи повышения яркости облаков, из-за недостаточного понимания взаимодействий аэрозолей и облаков. Не похоже, что изменение альbedo суши при помощи РСР может произвести значительное РВ. Нехватка литературных сведений о других методах РСР препятствует их оценке. {7.7.2, 7.7.3}

Определены множественные побочные эффекты, риски и недостатки РСР. РСР не обеспечило бы точную компенсацию РВ ПГ. Некоторые свидетельства указывают на то, что РСР произвело бы небольшое, но существенное уменьшение количества глобальных осадков (с большими различиями в региональном масштабе), если бы глобальная приземная температура поддерживалась неизменной. Еще одним побочным эффектом, который относительно хорошо охарактеризован, является вероятность умеренного истощения полярного стратосферного озона, связанного с РСР при помощи введения стратосферных аэрозолей. Также могут существовать и другие, пока еще непредвиденные, последствия. {7.6.3, 7.7.3, 7.7.4}

При дальнейшем повышении концентрации ПГ потребовалось бы соразмерное увеличение РСР, усиливающее побочные эффекты. Кроме того, масштабирование РСР до значительных уровней вызвало бы риск, связанный с тем, что при прекращении РСР по какой-либо причине существует *высокая степень достоверности* того, что приземные температуры быстро повысились бы (в течение десятилетия или двух) до значений, соответствующих воздействию ПГ, что вызвало бы стресс систем, чувствительных к темпам изменения климата. И наконец, РСР не компенсировало бы закисление океана в результате увеличения содержания CO_2 . {7.7.3, 7.7.4}

ТР.5.7 Долгосрочные проекции изменения уровня моря

ТР.5.7.1 Проекция изменения глобального среднего уровня моря в XXI веке

Повышение ГСУМ в период 2081-2100 гг. (относительно 1986-2005 гг.) для сценариев РТК будет, *вероятно*, в диапазонах от 5 до 95 %, полученных на основе климатических проекций СМIP5 в сочетании с моделями, описывающими процессы баланса поверхностной массы ледников и ледяного покрова при возможных динамических изменениях ледяного щита по опубликованным в литературе оценкам. Эти *вероятные* диапазоны составляют от 0,26 до 0,55 м (РТК2.6), от 0,32 до 0,63 м (РТК4.5), от 0,33 до 0,63 м (РТК6.0) и от 0,45 до 0,82 м (РТК8.5) (*средняя степень достоверности*) (таблица ТР.1, рисунок ТР.21). В сценарии РТК8.5 повышение к 2100 г. составит от 0,52 до 0,98 м. Средние проекции повышения ГСУМ во всех сценариях находятся в пределах 0,05 м до середины века, а затем они начинают различаться; к концу XXI века их разброс составляет 0,25 м. Несмотря на то, что РТК4.5 и РТК6.0 имеют очень схожие результаты на конец века, РТК4.5 показывает более

высокие темпы повышения уровня в более ранние сроки в этом веке, чем РТК6.0. Повышение ГСУМ зависит от траектории выбросов CO_2 , а не только от совокупных суммарных выбросов; более раннее, а не позднее сокращение таких же совокупных суммарных выбросов ведет к большему ослаблению повышения уровня моря. {12.4.1, 13.4.1, 13.5.1; таблица 13.5}

Достоверность прогнозируемых *вероятных* диапазонов основана на согласованности результатов моделей, описывающих процессы, с наблюдениями и пониманием физических причин. Были рассмотрены основания для проекций более значительного повышения уровня моря, однако был сделан вывод, что в настоящее время имеющихся данных недостаточно для оценки возможности превышения *вероятного* диапазона значений. Исходя из существующего сейчас понимания, только разрушение, если оно начнется, участков Антарктического ледяного щита, основания которых находятся ниже уровня моря, могло бы вызвать в XXI веке значительное превышение *вероятного* диапазона ГСУМ. В отношении вероятности такого разрушения нет общего мнения, и потенциальный дополнительный вклад в повышение не может быть точно определен в количественном выражении,

тем не менее имеется *средняя степень достоверности* того, что он не превысит нескольких десятых метра от значения повышения уровня моря в течение XXI века. {13.5.1, 13.5.3}

Согласно всем сценариям РТК осредненные по времени темпы повышения ГСУМ в XXI веке, *весьма вероятно*, превысят темпы, наблюдавшиеся в период 1970-2010 гг. В проекциях скорость повышения первоначально увеличивается. В сценарии РТК2.6 она становится приблизительно постоянной (средняя проекция составляет около $4,5 \text{ мм год}^{-1}$) до середины века, и затем несколько снижается. Скорость повышения уровня становится примерно постоянной в сценариях РТК4.5 и РТК6.0 к концу XXI века, тогда как в РТК8.5 ускорение продолжается в течение века (достигая $11 [8 - 16] \text{ мм год}^{-1}$ в период 2081-2100 гг.). {13.5.1; таблица 13.5}

Во всех сценариях РТК тепловое расширение вносит самый большой вклад, отвечая примерно за 30 – 55 % суммарной величины повышения. Ледники вносят второй по величине вклад, составляющий 15-35 %. К 2100 г., в соответствии с проекциями, от 15 до 55 % объема ледников, существующих в настоящее время, исчезнет по сценарию РТК2.6, и от 35 до 85 % по сценарию РТК8.5 (*средняя степень достоверности*). Усиление таяния на поверхности ледников в Гренландии превысит, согласно проекции, повышение аккумуляции, и имеется *высокая степень достоверности* того, что изменения баланса поверхностной массы Гренландского ледяного щита внесут положительный вклад в повышение уровня моря в течение XXI века. В соответствии с проекциями, таяние на поверхности Антарктического ледяного щита останется незначительным, хотя существует *средняя степень достоверности* усиления снегопадов (рисунок ТР.21). {13.3.3, 13.4.3, 13.4.4, 13.5.1; Таблица 13.5}

Имеется *средняя степень достоверности* в отношении возможности моделирования будущих быстрых изменений динамики ледяных щитов в десятилетних временных масштабах. Во время подготовки Д04 уровень научного понимания был недостаточным для оценки возможности таких изменений. Со времени опубликования Д04 был достигнут значительный прогресс в понимании соответствующих процессов, а также в разработке новых моделей ледяных щитов, которые в состоянии воспроизвести их. Тем не менее, в опубликованной литературе пока еще представлена лишь часть основы, необходимой для создания проекций, касающихся конкретных сценариев. В наших проекциях повышения ГСУМ к 2081-2100 гг. *вероятный* диапазон быстрых изменений стока льда составляет от 0,03 до 0,20 м с обеих ледяных щитов, и его включение является наиболее важной причиной того, почему значения проекций выше тех значений, которые приведены в Д04. {13.1.5, 13.5.1, 13.5.3}

Полуэмпирические модели разработаны для воспроизведения наблюдавшихся зарегистрированных значений уровня моря за период их калибровки, но они не относят повышение уровня моря на счет его отдельных физических компонентов. Для сценариев РТК некоторые полуэмпирические модели дают проекцию диапазона, который частично перекрывает *вероятный* диапазон модели, описывающей физические процессы, тогда как другие дают проекцию медианного и 95-го перцентиля, которые примерно в два раза больше по сравнению с моделями, описывающими физические процессы. Почти в каждом случае полуэмпирическая модель 95-го перцентиля дает более широкий диапазон, чем *вероятный* диапазон модели, описывающей физические процессы. Для периода 2081-2100 гг. (относительно 1986-2005 гг.) по сценарию РТК4.5 полуэмпирические модели дают медианные проекции в диапазоне от 0,56 до 0,97 м, и их 95-ые перцентили достигают примерно 1,2 м. Эта разница подразумевает, что или имеется некоторый вклад, который

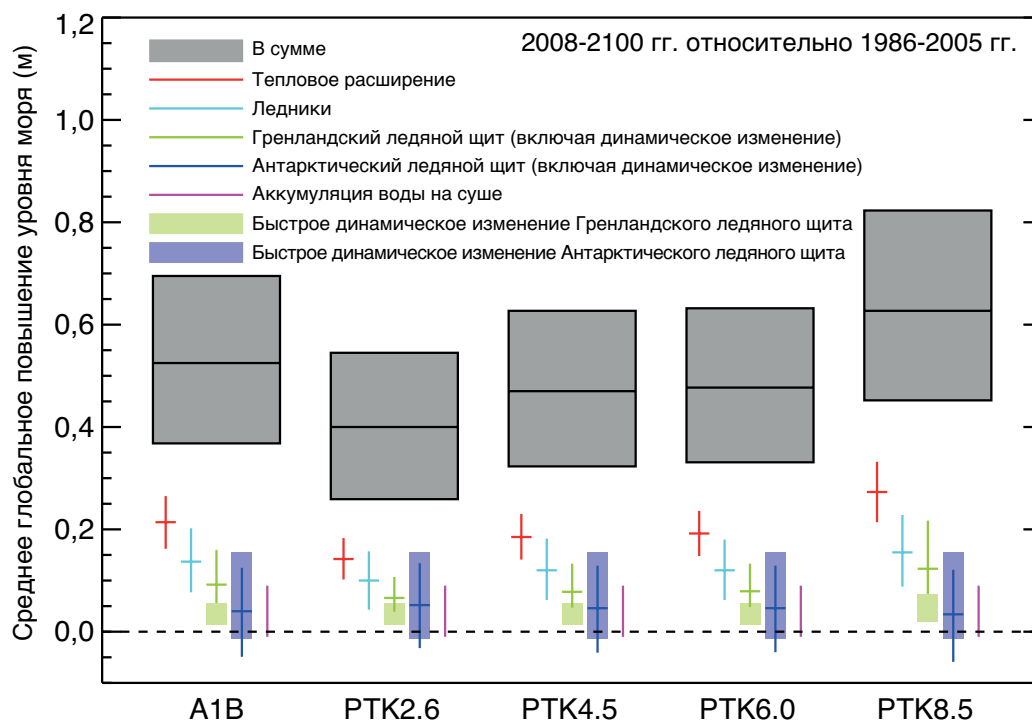


Рисунок ТР.21 | Проекция моделей, описывающих физические процессы, с *вероятными* диапазонами и медианными значениями повышения глобального среднего уровня моря (ГСУМ), и его вклад в 2081-2100 гг. относительно 1986-2005 гг. для четырех сценариев РТК и сценария А1В СДСВ, использованных в Д04. Вклады ледяных щитов включают вклады быстрого динамического изменения ледяных щитов, которые также показаны отдельно. Вклады быстрых динамических изменений ледяных щитов и антропогенной аккумуляции воды на суше рассматриваются как имеющие одинаковые вероятностные распределения, и как не зависящие от сценария (за исключением использования более высоких темпов изменения для стока Гренландского ледяного щита в рамках сценария РТК8.5). Эта трактовка не подразумевает, что соответствующие вклады не будут зависеть от используемого сценария, а только означает, что современное состояние знаний не позволяет дать количественную оценку этой зависимости. См. обсуждение методов в разделах 13.5.1 и 13.5.3 и в Дополнительном материале. Если исходить из существующего сейчас понимания, то разрушение только морских секторов Антарктического ледяного щита, если оно начнется, могло бы вызвать в XXI веке значительное превышение *вероятного* диапазона повышения ГСУМ. Этот потенциальный дополнительный вклад не может быть точно определен в количественном выражении, однако имеется *средняя степень достоверности*, что он не превысит нескольких десятых метра в XXI веке. {Рисунок 13.10}

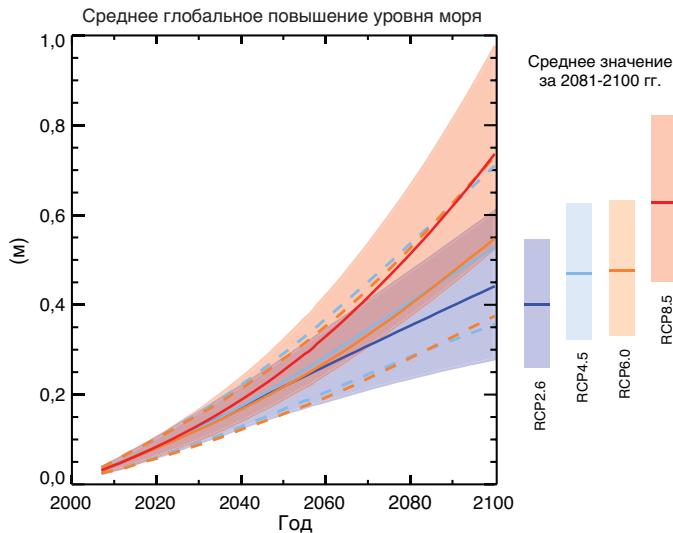


Рисунок ТР.22 | Проекция повышения глобального среднего уровня моря (ГСУМ) относительно 1986-2005 гг. для четырех сценариев РТК, подготовленные на основе моделей, описывающих физические процессы. Сплошные линии показывают медианные проекции, пунктирные линии обозначают вероятные диапазоны по сценариям РТК4.5 и РТК6.0 м, и штриховка - вероятные диапазоны согласно сценариям РТК2.6 и РТК8.5. Средние по времени значения для 2081-2100 гг. представлены в виде цветных вертикальных полос. Относительно методов, см. разделы 13.5.1 и 13.5.3 и Дополнительный материал. Если исходить из существующего сейчас понимания, то разрушение только морских секторов Антарктического ледяного щита, если оно начнется, могло бы вызвать в XXI веке значительное превышение вероятного диапазона повышения ГСУМ. Этот потенциальный дополнительный вклад не может быть точно определен в количественном выражении, однако имеется средняя степень достоверности, что он не превысит нескольких десятых метра в XXI веке. Дальнейшие подробности в отношении соответствующего рисунка РП.9 приводятся в Дополнительном материале к ТР. (Таблица 13.5; рисунки 13.10, 13.11)

в настоящее время не определен или недооценен в моделях, описывающих физические процессы, или что проекции полупирических моделей дают чрезмерную оценку. Проекция, полученные с помощью полупирических моделей, позволяют предположить, что изменение уровня моря в будущем будет иметь такую же связь, как и в прошлом, с радиационным воздействием (РВ) или с изменением средней глобальной температуры. Это может быть не так, если потенциально нелинейные физические процессы не масштабируются в будущем такими же методами, которыми можно проводить калибровку прошлых данных. В научном сообществе нет консенсуса в отношении надежности проекций полупирических моделей, и поэтому достоверность этих проекций оценивается как низкая. {13.5.2, 13.5.3}

ТР.5.7.2 Проекция изменения глобального среднего уровня моря после 2100 г.

Практически определено, что повышение ГСУМ будет продолжаться и после 2100 г. Немногочисленные имеющиеся результаты моделирования, охватывающие период после 2100 г., показывают, что повышение глобального среднего уровня моря к 2300 г. превысит доиндустриальный уровень (определенный здесь, как равновесная концентрация CO₂ в атмосфере, составляющая 280 ppm) менее чем на 1 м при РФ, соответствующем концентрациям CO₂, которые достигают пиковых значений, затем снижаются и остаются на уровне ниже 500 ppm, как констатируется в сценарии РТК2.6. При РВ, соответствующем концентрации CO₂ выше 700 ppm, но ниже 1500 ppm, как в сценарии РТК8.5, прогнозируемое повышение составляет от 1 м до более, чем 3 м (средняя степень достоверности). {13.5.4}

Повышение уровня моря вследствие теплового расширения океана будет продолжаться от нескольких веков до тысячелетий. Объем теплового расширения океана возрастает при глобальном потеплении (модели дают диапазон от 0,2 до 0,6 м °C⁻¹). Вклад ледников уменьшается с течением

времени, так как их объем (в настоящее время примерно 0,43 м эквивалента уровня моря) уменьшается. В Антарктиде после 2100 г. согласно сценариям с более высокими концентрациями парниковых газов усиление таяния поверхности может превысить рост аккумуляции. {13.5.2, 13.5.4}

Имеющиеся свидетельства указывают, что глобальное потепление, превышающее определенную пороговую величину, приведет к почти полному исчезновению Гренландского ледяного щита в течение тысячелетия или более, вызвав повышение ГСУМ примерно на 7 м. Исследования, проводимые с учетом фиксированного на сегодняшний день рельефа ледяного щита, показывают пороговую величину выше 2 °C, но меньше 4 °C повышения СГПТ относительно доиндустриальной эпохи (средняя степень достоверности). В одном из исследований с динамическим ледяным щитом констатируется, что пороговая величина выше примерно на 1° C (низкая степень достоверности) глобального среднего потепления в сравнении с доиндустриальной эпохой. Принимая во внимание текущее состояние научной неопределенности, вероятный диапазон не может быть определен в количественном выражении. Полное исчезновение ледяного щита не является неизбежным, так как на это уйдет тысяча или более лет; если температуры понизятся до исчезновения ледяного щита, то он, возможно, снова нарастет. Однако потеря какой-то части массы может быть необратимой, в зависимости от продолжительности и степени превышения пороговой величины, так как ледяной щит может иметь множество устойчивых состояний вследствие своего взаимодействия со своим региональным климатом. {13.4.3, 13.5.4}

Имеющаяся в настоящее время информация указывает, что динамический вклад ледяных щитов будет продолжаться и после 2100 г., однако степень достоверности проекций низкая. В Гренландии сток льда, вызванный взаимодействием с океаном, имеет собственные ограничения, так как кромка ледяного щита отступает от побережья вглубь материка. Наоборот, рельеф коренных пород в Антарктиде способствует возможному повышению темпов потери массы по мере отступления льда. На глубине примерно 3,3 м эквивалентного глобального уровня моря Западно-антарктический ледяной щит залегает на грунте в районах, где коренная порода имеет уклон, что может вызвать потенциальную потерю льда за счет нестабильности морского ледяного покрова. В качестве отклика на воздействие изменения климата возможны резкие и необратимые потери льда вследствие потенциальной нестабильности морских участков Антарктического ледяного щита, однако имеющихся в настоящее время свидетельств и понимания недостаточно для выполнения количественной оценки. Можно ожидать, что в результате относительно слабых снегопадов в Антарктиде и медленного движения льдов в ее континентальной части Западно-антарктическому ледяному щиту потребуется по меньшей мере несколько тысяч лет для возобновления роста, если он исчезнет по причине динамического стока льда. В результате любая значительная потеря массы льда в Западной Антарктиде, которая произойдет в течение следующего века, будет необратимой во временном масштабе от нескольких веков до тысячелетия. {5.8, 13.4.3, 13.4.4, 13.5.4}

ТР.5.7.3 Проекция изменения регионального уровня моря

Региональный уровень моря изменится вследствие изменений динамики циркуляции океана, изменений теплосодержания океана, перераспределения массы во всей системе Земля и изменений атмосферного давления. Изменение динамики океана произойдет в результате изменений факторов воздействия ветра и подъемной силы (теплота и пресная вода), связанных с этим изменений циркуляции и перераспределения тепла и пресной воды. Во временных масштабах более нескольких дней региональный уровень моря также подстраивается почти изостатически к региональным изменениям атмосферного давления на уровне моря относительно своего среднего значения в масштабе океана. Потеря массы ледяных щитов (как на современном этапе, так и в прошлом), потеря массы ледников и изменения гидрологии суши вызовут перераспределение водных масс между криосферой, сушей и океанами, что приведет к заметным региональным изменениям твердой оболочки Земли, вращения Земли и гравитационного

поля. В некоторых прибрежных районах изменения в гидрологическом цикле, проседание грунта, связанное с антропогенной деятельностью, тектонические и береговые процессы могут стать доминирующим фактором в изменении относительного уровня моря, т.е. в изменении высоты поверхности моря относительно суши. {13.1.3, 13.6.2, 13.6.3, 13.6.4}

К концу XXI века изменение уровня моря будет иметь значительную региональную тенденцию, которая будет доминировать над изменчивостью, при этом многие регионы будут, *вероятно*, испытывать значительные отклонения от глобального среднего изменения (рисунок ТР.23). *Весьма вероятно*, что примерно на более чем 95 % океана произойдет региональное относительное повышение уровня моря, тогда как большинство регионов, где наблюдается падение уровня моря, находятся вблизи современных и бывших ледников и ледяных щитов. Локальные изменения уровня моря отклоняются более чем на 10 % и 25 % от глобальной средней проекции примерно на 30 % и 9 % площади океана, соответственно, что указывает на то, что пространственные колебания могут быть значительными. Региональные изменения уровня моря достигают значений до 30 % выше глобальной средней величины в Южном океане и вокруг Северной Америки, между 10 % и 20 % в экваториальных районах и до 50 % ниже глобальной средней величины в арктическом регионе и ряде районов вблизи Антарктиды. Согласно проекциям, около 70 % береговых линий по всему миру претерпят относительное изменение уровня моря в пределах 20 % от изменения ГСУМ. В течение десятилетних периодов, темпы изменения регионального относительного уровня моря в результате изменчивости климата могут отличаться от глобальной средней скорости более чем на 100 %. {13.6.5}

ТР.5.7.4 Проекция изменения экстремальных значений уровня моря и волн в течение XXI века

Весьма вероятно, что к концу XXI века произойдет значительное увеличение числа случаев возникновения будущих экстремальных значений уровня моря, при этом в начале XXI века это увеличение *вероятно* (см. ФЭТ.9, таблица 1). Это увеличение будет, в первую очередь, результатом подъема среднего уровня моря (*высокая степень достоверности*), при этом экстремальные периоды повторяемости сократятся, по меньшей мере, на порядок величины в некоторых регионах к концу XXI века. Существует *низкая степень достоверности* проекций штормовой активности и связанных с ней штормовых нагонов в конкретных регионах. {13.7.2}

Вероятно (средняя степень достоверности), что годовые средние значительные высоты волн увеличатся в Южном океане в результате повышения скорости ветра. Зарождающиеся волны зыби в Южном океане, вероятно, окажут воздействие на высоты, периоды и направления волн в близлежащих бассейнах. *Весьма вероятно*, что высоты волн и продолжительность сезона волнений возрастут в Северном Ледовитом океане в результате уменьшения площади льдов. В целом, имеется *низкая степень достоверности* проекций для конкретных регионов вследствие *низкой степени достоверности* проекций штормов в тропических и внетропических зонах и проблемы даунскейлинга будущих состояний ветра в климатических моделях с грубым разрешением. {13.7.3}

Относительное изменение уровня моря в 2081-2100 гг относительно 1986-2005 гг.

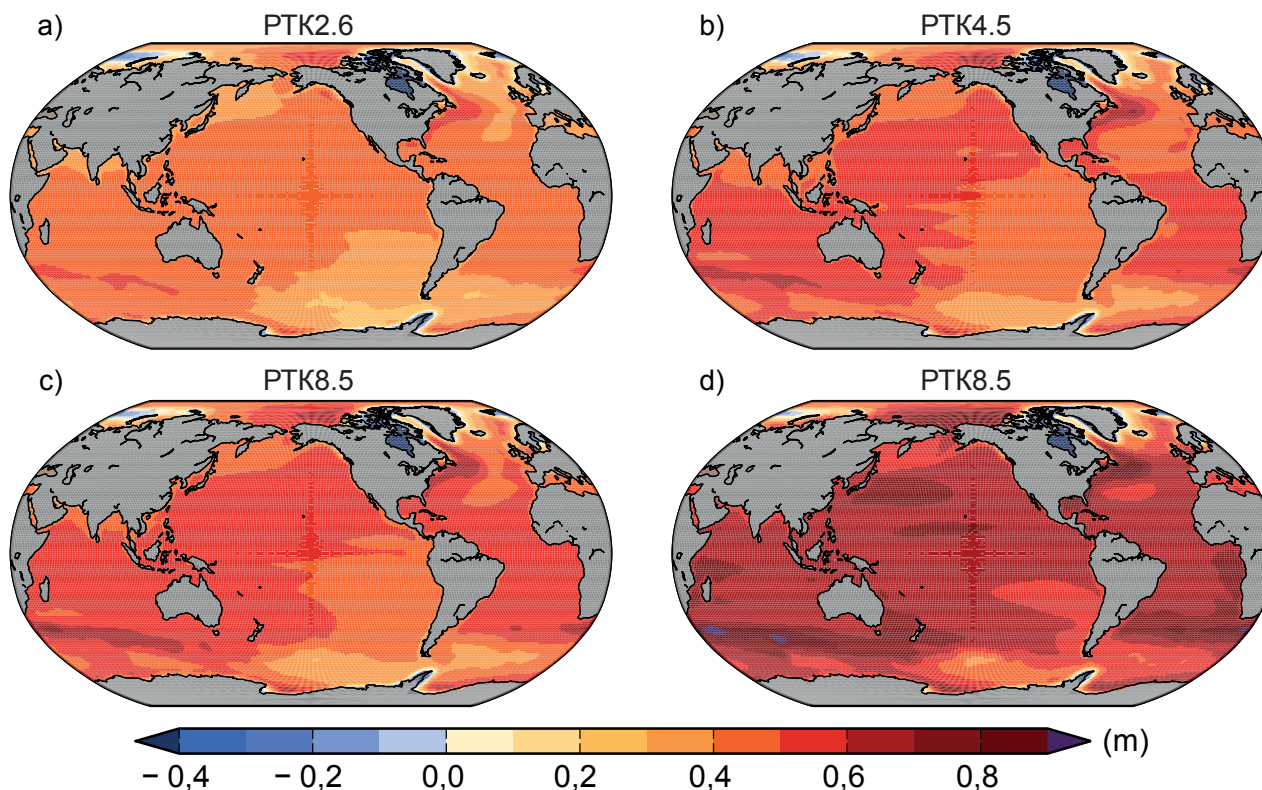


Рисунок ТР.23 | Среднее суммарное относительное изменение уровня моря (метры) по ансамблю, полученное из оценок 21 модели CMIP5 для сценариев РТК а) 2.6, б) 4.5, в) 6.0 и д) 8.5 между 1986-2005 гг. и 2081-2100 гг. Каждая карта включает эффекты атмосферной концентрации, плюс материковый лед, ледниковая изостатическая корректировка (ЛИК) и наземные источники воды. (Рисунок 13.20)

Фокусные элементы темы

ФЭТ.8 | Климатические цели и стабилизация

Концепция стабилизации тесным образом связана с конечной целью Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН), которая заключается в том, чтобы «добиться [...] стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему». Недавние политические дискуссии были сосредоточены скорее на ограничениях повышения глобальной температуры, а не концентраций парниковых газов (ПГ), как климатических целях в контексте задач РКИКООН. Наиболее широко обсуждалось значение 2 °С, т.е. ограничение повышения глобальной температуры относительно значений доиндустриального периода до величины ниже 2 °С, однако были предложены другие цели помимо величины 2 °С (например, возврат к величине потепления намного ниже, чем значение 1,5 °С глобального потепления относительно доиндустриального периода, или возврат к концентрации 350 млн⁻¹ (ppm) двуокси углерода (CO₂) в атмосфере в 350 ppm). Климатические цели обычно означают предотвращение потепления сверх предопределенного порогового значения. Климатические воздействия, однако, характеризуются географическим разнообразием и конкретны для каждого сектора, и не существует ни одной объективной пороговой величины, которая определяет, когда достигается опасное воздействие. Некоторые изменения можно задерживать или они бывают необратимыми, а другие изменения могут быть полезными. Таким образом, невозможно определить единственную крайне важную объективную пороговую величину без оценок значимости и без предположений относительно того, как обобщать текущие и будущие затраты и выгоды. Данный ФЭТ не пропагандирует и не защищает какое-либо пороговое значение или задачу, и не обсуждает экономическую или политическую осуществимость таких целей, но дает оценку, основанную на текущем понимании обратных связей климата и углеродного цикла, климатических проекций в соответствии с репрезентативными траекториями концентраций (РТК) в контексте климатических целей, и последствий различных задач долгосрочной стабилизации температуры в отношении разрешенных выбросов углерода. Ниже также подчеркивается, что стабилизация температуры не обязательно подразумевает стабилизацию всей системы Земля. {12.5.4}

Цели в области температуры подразумевают верхнюю границу суммарного радиационного воздействия (РВ). Различия в РВ между четырьмя сценариями относительно малы до 2030 г., однако к концу XXI века они становятся очень большими и зависят от воздействия CO₂. В результате в ближайшем будущем, в соответствии с проекцией, средние глобальные приземные температуры (СППТ) будут продолжать повышаться такими же темпами для четырех сценариев РТК. Примерно в середине XXI века темпы глобального потепления начнут больше зависеть от сценария. К концу XXI века глобальные средние температуры будут выше, чем в настоящее время, согласно всем сценариям РТК, при этом изменение глобальной температуры будет самым большим (>0,3 °С за десятилетие) по сценарию с самыми высокими значениями РТК8.5, и значительно меньше в РТК2.6, в особенности примерно после 2050 г., когда отклик глобальной приземной температуры стабилизируется (с последующим уменьшением) (см. рисунок ТР.15). {11.3.1, 12.3.3, 12.4.1}

В ближайшем будущем (2016-2035 гг.) глобальное среднее приземное потепление скорее вероятно, чем нет, превысит 1 °С, и весьма маловероятно, что оно будет выше 1,5 °С в сравнении со средней величиной с 1850 г. по 1900 г. (предполагая величину потепления равной 0,61 °С с 1850-1900 гг. по 1986-2005 гг.) (средняя степень достоверности). К концу XXI века (2081-2100 гг.) глобальное среднее приземное потепление относительно 1850-1900 гг., вероятно, превысит 1,5 °С для РТК4.5, РТК6.0 и РТК8.5 (высокая степень достоверности), и, вероятно, превысит 2 °С для РТК6.0 и РТК8.5 (высокая степень достоверности). Скорее вероятно, чем нет, оно превысит 2 °С для РТК4.5 (средняя степень достоверности). Величина глобального среднего приземного потепления, превышающая 2 °С по сценарию РТК2.6, маловероятна (средняя степень достоверности). Глобальное среднее приземное потепление выше 4 °С к 2081-2100 гг. маловероятно во всех РТК (высокая степень достоверности), кроме РТК8.5, где оно почти также вероятно, как и нет (средняя степень достоверности). {11.3.6, 12.4.1; таблица 12.3}

Продолжающиеся выбросы ПГ после 2100 г., как и в продленной РТК8.5, приведут к суммарному РВ выше 12 Вт м⁻² к 2300 г., при этом глобальное потепление достигнет 7,8 [3,0 - 12,6] °С для 2281-2300 гг. относительно 1986-2005 гг. Согласно продленной РТК4.5, где радиационное воздействие сохраняется постоянным (примерно 4,5 Вт м⁻²) после 2100 г., глобальное потепление достигает 2,5 [1,5 - 3,5] °С. Глобальное потепление достигает 0,6 [0,0 - 1,2] °С согласно продленной РТК2.6, где устойчивые отрицательные выбросы приводят к дальнейшему уменьшению РВ, достигая к 2300 г. величин ниже существующего на сегодняшний день РВ. См. также вставку ТР.7. {12.3.1, 12.4.1, 12.5.1}

Общее количество антропогенного CO₂, выброшенного в атмосферу после доиндустриального периода (часто называемого совокупным выбросом углерода, хотя это относится только к выбросам CO₂), является хорошим показателем концентрации CO₂ в атмосфере и соответственно отклика на глобальное потепление. Соотношение изменения ГСПТ и общих кумулятивных антропогенных выбросов CO₂ относительно постоянно во времени и не зависит от сценария. Это почти линейное соотношение между общими выбросами CO₂ и изменением глобальной температуры позволяет определить новое количество (переходную реакцию климата на кумулятивные выбросы углерода (ПРКВ)) в качестве переходного изменения ГСПТ для данного количества кумулятивных антропогенных выбросов CO₂, обычно 1000 ПгС (ФЭТ.8, рисунок 1). ПРКВ зависит от модели, так как она является функцией кумулятивной воздушной фракции CO₂ и переходной реакции климата, при этом оба количественных параметра значительно меняются в разных моделях.

(продолжение на следующей странице)

ФЭТ.8 (продолжение)

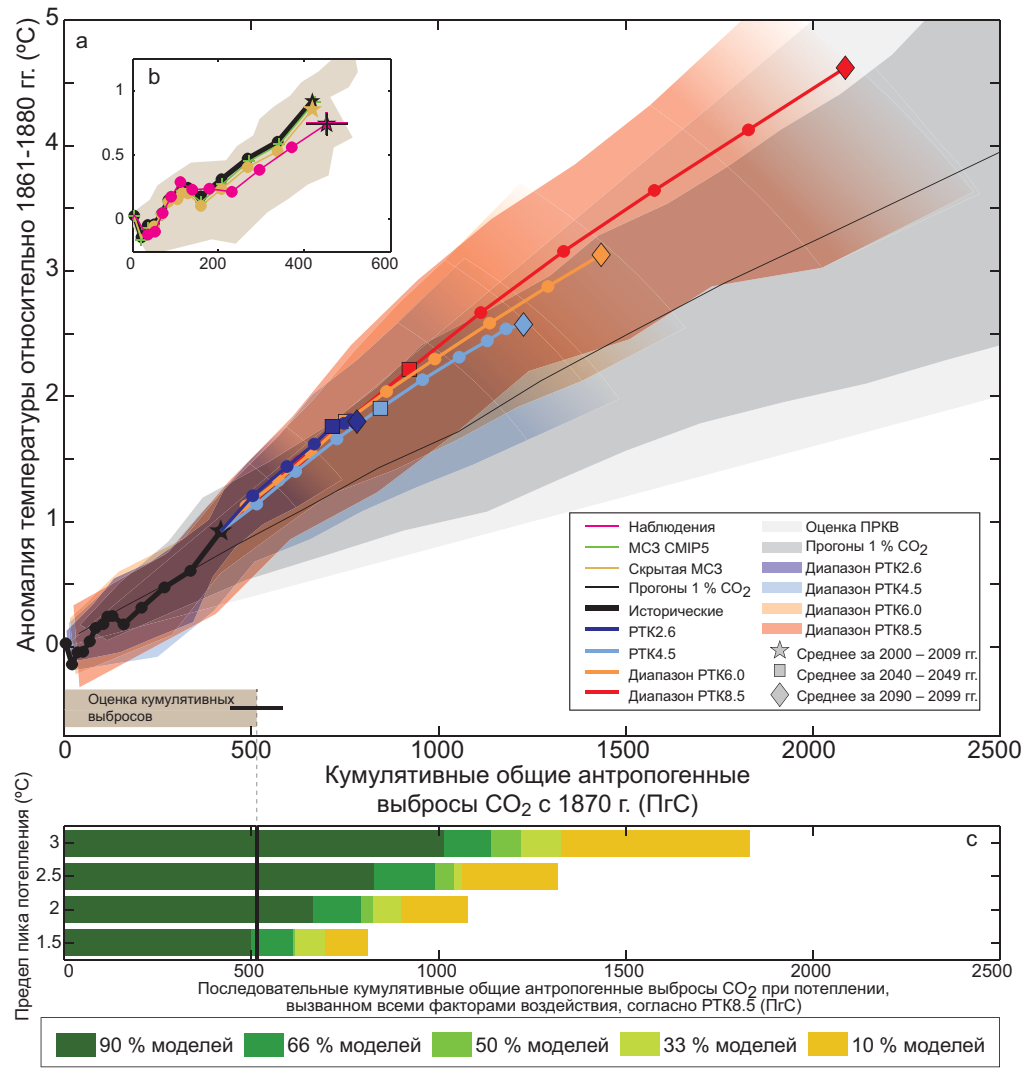
С учетом имеющейся информации из множества источников (наблюдения, модели и понимание процессов), почти линейная связь между кумулятивными выбросами CO₂ и пиковой средней глобальной температурой четко определена в литературе и обоснована для кумулятивных общих выбросов CO₂ примерно до 2 000 ПгС. Это согласуется с взаимосвязью, выведенной от прошлых кумулятивных выбросов CO₂ и наблюдавшегося потепления, поддерживается пониманием процесса углеродного цикла и глобального энергетического баланса, и является обоснованным производным результатом из всей иерархии моделей. Экспертное мнение, основанное на имеющихся свидетельствах, свидетельствует о том, что ПРКВ, вероятно, находится в пределах от 0,8 °C до 2,5 °C на 1 000 ПгС, для кумулятивных выбросов менее чем приблизительно 2 000 ПгС до того времени, когда температура достигает пиковых значений (ФЭТ.8, рисунок 1а). {6.4.3, 12.5.4; вставка 12.2}

В соответствии с проекцией потепление, вызванное CO₂, будет оставаться примерно постоянным в течение многих веков после полного прекращения выбросов. Таким образом, изменение климата большей частью необратимо во временном масштабе человека, за исключением того, что суммарные антропогенные выбросы CO₂ были в значительной степени отрицательными в течение устойчивого периода. На основании оценки ПРКВ (предполагая нормальное распределение с диапазоном стандартного отклонения ± 1 от 0,8 до 2,5 °C на 1 000 ПгС), ограничивая потепление, вызванное только антропогенными выбросами CO₂ (т.е., игнорируя другие виды радиационного воздействия), до менее чем 2 °C после периода 1861-1880 гг. с вероятностью >33 %, >50 % и >66 %, общие выбросы CO₂ из всех антропогенных источников должны быть ниже кумулятивного баланса порядка 1 570 ПгС, 1 210 ПгС и 1 000 ПгС с 1870 г., соответственно. 515 [445 - 585] ПгС было выброшено в период между 1870 г. и 2011 г. (ФЭТ.8, рисунок 1а,б). Поэтому больший объем выбросов в предшествующие десятилетия подразумевают низкие или даже отрицательные выбросы в последующий период. Учет не связанных с CO₂ воздействий, способствующих пиковому потеплению, подразумевает более низкие совокупные выбросы CO₂. Компоненты воздействия, не относящиеся к CO₂, имеют важное значение и требуют либо предположений о том, каким образом уменьшения выбросов CO₂ связаны с изменениями других воздействий, либо отдельных бюджетов выбросов и климатического моделирования коротко- и долгоживущих газов. Пока что имеются немногочисленные исследования, рассматривавшие воздействия, не связанные с CO₂. В тех исследованиях, где они все же учитывались, были обнаружены значительные эффекты, в частности потепление на несколько десятых градуса в случае резких сокращений выбросов короткоживущих веществ, например аэрозолей. Учет непредвиденных выбросов ПГ из многолетней мерзлоты или гидратов метана, не включенных в оцениваемые здесь исследования, также сократит антропогенные выбросы CO₂, сопоставимые с данной целью по температуре. Требование более высокого правдоподобия температур, остающихся ниже данной цели по температуре, приведет к дальнейшему уменьшению сопоставимых выбросов (ФЭТ.8, рисунок 1с). При учете воздействий, не связанных с CO₂, в сценариях РТК сопоставимые выбросы углерода с 1870 г. сокращаются примерно до 900 ПгС, 820 ПгС и 790 ПгС и ограничивают потепление до менее чем 2 °C после 1861-1880 гг. с вероятностью >33 %, >50 % и >66 %, соответственно. Эти оценки были выведены путем расчета на основе части моделей системы Земля (МСЗ) в рамках этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей и моделей системы Земля промежуточной сложности (МСЗПС), результаты которых по-прежнему ниже 2 °C для данных кумулятивных выбросов в соответствии с РТК8.5, как показано на рис. 1с, ФЭТ.8. Не связанное с CO₂ воздействие в РТК8.5 выше, чем в РТК2.6. Так как все утверждения о правдоподобии на специальном языке МГЭИК имеют открытые интервалы, представленные оценки являются, таким образом, как консервативными, так и непротиворечивыми выборами, обоснованными для не связанных с CO₂ воздействий по всем сценариям РТК. Не существует ни одного сценария РТК, который ограничивает потепление 2 °C с вероятностями >33 % или >50 %, и который можно было бы использовать для непосредственного получения сопоставимых кумулятивных выбросов. Для вероятности >66 % в качестве сравнения можно использовать РТК2.6. Объединение среднего обратного расчета выбросов углерода от использования ископаемых видов топлива для РТК2.6 в период между 2012 г. и 2100 г. (270 ПгС) со средней исторической оценкой в 515 ПгС дает суммарную величину 785 ПгС, т.е., 790 ПгС при округлении до 10 ПгС. Так как величина 785 ПгС исключает явную оценку будущих выбросов в результате изменений в землепользовании, значение 790 ПгС также остается консервативной оценкой, согласующейся с общей оценкой правдоподобия. Диапазоны выбросов для этих трех оценок правдоподобия, основанные на сценариях РТК, достаточно узкие, поскольку они основаны на одном сценарии и на ограниченной выборке имеющихся моделей (рис. 1с, ФЭТ.8). В отличие от ПРКВ, они не включают ограничения наблюдений или не объясняют источники неопределенности, не отобранные моделями. Концепция фиксированного совокупного бюджета CO₂ подходит не только для 2 °C, но и для любого уровня температуры, изучаемого до настоящего времени с помощью моделей (примерно до 5 °C, см. рисунки 12.44 - 12.46). Задачи с высокими температурами позволяют более большие совокупные бюджеты, в то время как задачи с более низкими температурами требуют более низких совокупных бюджетов (ФЭТ.8, рисунок 1). {6.3.1, 12.5.2, 12.5.4}

Климатическая система имеет различные множественные временные масштабы от годовых до многих тысячелетий, связанные с различными накопителями тепла и углерода. Эти длительные временные масштабы вызывают неизбежное потепление «уже в трубопроводе». Стабилизация воздействия не приведет к мгновенной стабилизации потепления. Для сценариев РТК и их продлений до 2300 г. доля произошедшего потепления к тому времени, когда РФ стабилизируется, составит примерно 75 - 85 % равновесного потепления. Для повышения CO₂ от 1 % год⁻¹ до 2 x CO₂ или 4 x CO₂ и постоянного воздействия впоследствии, доля произошедшего потепления будет намного меньше, а именно около 40 - 70% в то время, когда воздействие будет действовать постоянно. Благодаря длительным временным масштабам в глубинных водах океана полное равновесие достигается только после сотен - тысяч лет. {12.5.4}

(продолжение на следующей странице)

ФЭТ.8 (продолжение)



ФЭТ.8, рисунок 1 | Повышение средней глобальной температуры с 1861-1880 гг. как функция совокупных глобальных выбросов CO₂, полученных из различных источников данных. Десятилетние средние результаты показаны по всем моделям системы Земля промежуточной сложности (МСЗПС) и моделям системы Земля (МСЗ) CMIP5 для каждой РТК, соответственно, цветными линиями (мультимодельное среднее), десятилетними маркерами (точки), при этом три десятилетия (2000-2009 гг., 2040-2049 гг. и 2090-2099 гг.) отмечены, соответственно, звездочкой, квадратом и ромбом. Исторический временной период продолжительностью до десятилетия 2000-2009 гг. взят из исторических прогнозов CMIP5, продленных в сценарии РТК8.5 до 2006-2010 гг., и указан черной толстой линией и черными условными обозначениями. Цветные диапазоны иллюстрируют разброс модели (диапазон 90 %) по всем МСЗ и МСЗПС CMIP5 и не представляют формальную оценку неопределенности. Диапазоны заполняются по мере доступности данных всех моделей и до достижения пиковой температуры. Затем в целях иллюстрации они постепенно становятся менее яркими. Модельные расчеты CMIP5 при повышении CO₂ только на 1 % год⁻¹ показаны темно-серой областью (определение диапазона подобно сценариям РТК выше) и черной тонкой линией (мультимодельное среднее). Светло-серый конус представляет содержащуюся в этом докладе оценку переходной реакции климата на выбросы (ПРКВ) только CO₂. Оцениваемые совокупные исторические выбросы CO₂ с 1870 г. по 2011 г. с соответствующими неопределенностями иллюстрируются серой полосой в нижней части рисунка (а). (б) Сравнение исторических результатов модели с данными наблюдений. Пурпурная линия и диапазоны неопределенности основаны на данных о наблюдавшихся выбросах, полученных из Центра анализа информации по двуокиси углерода (CDIAC), дополненных данными Глобального проекта по углероду до 2010 г. и оценками наблюдавшейся температуры согласно четвертой версии набора данных о приземной температуре в узлах сетки Отдела климатических исследований Центра Хэдли (HadCRUT4). Неопределенности в последнее десятилетие наблюдений основаны на оценке, содержащейся в этом докладе. Черная толстая линия идентична линии в (а). Тонкая зеленая линия с крестиками аналогична черной линии, но только для МСЗ. Желто-коричневая линия и диапазон показывают результаты этих МСЗ до 2010 г., когда была внесена поправка на неполный географический охват HadCRUT4 с течением времени. Все величины даны в сравнении с базовым периодом 1861-1880 гг. Все временные ряды получены из десятилетних средних для иллюстрации долгосрочных трендов. Следует отметить, что дополнительные данные наблюдений приводятся в зависимости от внутренней изменчивости климата, при этом добавляется неопределенность порядка 0,1 °C. (с) Совокупные выбросы CO₂ в течение всего индустриального периода, согласующиеся с четырьмя иллюстративными пределами пиковых глобальных температур (1,5 °C, 2 °C, 2,5 °C и 3 °C, соответственно), если учитывается потепление, вызванное всеми факторами воздействия. Горизонтальные полосы показывают согласующиеся бюджеты совокупных выбросов, как функцию некоторых моделей (МСЗ CMIP5 и МСЗПС), в соответствии с которыми потепление, по меньшей мере, находится ниже заданного предела температуры. Отметим, что данные некоторых моделей невозможно интерпретировать как вероятность. Бюджеты получают посредством прогнозов РТК8.5 с учетом относительно значительного воздействия факторов, иных нежели CO₂, течение XXI века. Если выбросы газов, иных нежели CO₂, будут значительно сокращены, то выбросы CO₂, совместимые с определенным пределом температуры, могут быть несколько выше, но только в очень ограниченной степени, как показано другими цветными линиями в (а), где предполагается намного более слабое воздействие факторов, иных нежели CO₂. Дальнейшие детали, касающиеся рисунка РП.10, приведены в Дополнительном материале ТР. {Рисунок 12.45}

ФЭТ.8 (продолжение)

Неизбежность влияния прошлых выбросов на устойчивость потепления в течение сотен лет сохранит его примерно на уровне того потепления, которое имело место, когда выбросы прекратились. Устойчивость этого потепления, вызванного CO₂, после прекращения выбросов, объясняется установлением равновесия между описанным выше затянущимся неизбежным потеплением и медленным сокращением содержания CO₂ в атмосфере вследствие поглощения углерода океаном и сушей. Такая устойчивость потепления также является результатом нелинейной зависимости РВ от концентрации CO₂ в атмосфере, т.е., относительное уменьшение воздействия меньше, чем относительное сокращение концентрации CO₂. В случае высокой чувствительности климата и, в частности, прекращения выбросов сульфатных аэрозолей одновременно с прекращением выбросов ПГ, неизбежность потепления, связанная с прошлыми выбросами, может быть в значительной степени положительной, и является суперпозицией быстрой реакции на сокращенные выбросы аэрозолей и медленной реакции на уменьшение концентрации CO₂. {12.5.4}

Стабилизация глобальной температуры не подразумевает стабилизацию всех аспектов климатической системы. Своими собственными внутренними длительными временными масштабами характеризуются процессы, связанные с изменением растительности, изменений в ледяных щитах, потеплением глубинных вод океана и соответствующим повышением уровня моря, а также потенциальными обратными связями. Закисление океана будет, *весьма вероятно*, продолжаться в будущем до тех пор пока океаны будут поглощать CO₂ из атмосферы. Неизбежные изменения углеродного цикла экосистем суши будут происходить и после окончания XXI века. *Практически определено*, что подъем глобального среднего уровня моря продолжится после 2100 г., при этом повышение уровня моря вследствие теплового расширения будет продолжаться в течение периодов от столетий до тысячелетий. Глобальное повышение среднего уровня моря зависит от траектории выбросов CO₂, причем не только от совокупной суммарной величины; сокращение выбросов, скорее раньше, чем позже, для той же совокупной суммарной величины ведет к более значительному смягчению последствий подъема уровня моря. {6.4.4, 12.5.4, 13.5.4}

ТР.5.8 Климатические явления и изменение регионального климата

В данном разделе дается оценка прогнозируемых изменений в течение XXI века в крупномасштабных климатических явлениях, которые оказывают воздействие на региональный климат (таблица ТР.2). Некоторые из этих явлений входят в понятие климатологии (например, муссоны), а другие определяются как межгодовая изменчивость (например, Эль-Ниньо), при этом последнее воздействует на климатические экстремальные явления, такие как наводнения, засухи и волны тепла. Здесь также обобщаются изменения в статистических данных по метеорологическим явлениям, таким как тропические циклоны и внетропические штормы. {14.8}

ТР.5.8.1 Муссонные системы

Глобальные показатели муссонов по площади и летним осадкам, *вероятно*, увеличатся, в XXI веке, тогда как циркуляция муссонов ослабнет. Сроки наступления сезона муссонов, *вероятно*, станут более ранними или существенно не изменятся, тогда как сроки прекращения муссонов, *вероятно*, будут более поздними, что приведет к увеличению продолжительности сезона муссонов во многих регионах (рисунок ТР.24). Увеличение сезонных средних осадков наиболее заметно на примере летних муссонов в Восточной и Южной Азии, тогда как изменение в других районах мира, подверженных муссонам, является предметом более значительных неопределенностей. {14.2.1}

Существует *средняя степень достоверности* того, что межгодовая изменчивость дождевых осадков, связанная с муссонами, будет в будущем усиливаться. Будущее увеличение экстремальных осадков, связанное с муссонами, *весьма вероятно* в Южной Америке, Африке, Восточной Азии, Южной Азии, Юго-Восточной Азии и Австралии. {14.2.1, 14.8.5, 14.8.7, 14.8.9, 14.8.11-14.8.13}

Существует *средняя степень достоверности* того, что общее количество осадков, связанных с Азиатско-австралийским муссоном, увеличится, но с северно-южной асимметрией: по проекции, дождевые осадки в период

Индийского муссона возрастут, тогда как прогнозируемые изменения в выпадении дождевых осадков в период Австралийского летнего муссона будут небольшими. Существует *средняя степень достоверности* того, что циркуляция Индийского летнего муссона ослабнет, но это будет компенсироваться повышенным влагосодержанием в атмосфере и приведет к дальнейшему росту дождевых осадков. Для Восточно-азиатского летнего муссона как муссонная циркуляция, так и выпадение дождевых осадков, усилятся. {14.2.2, 14.8.9, 14.8.11, 14.8.13}

Существует *низкая степень достоверности* проекций изменений осадков Североамериканского и Южноамериканского муссонов, однако имеется *средняя степень достоверности* того, что Североамериканский муссон установится и просуществует до более поздних сроков в годовом цикле, и имеется *высокая степень достоверности* расширения района Южноамериканского муссона. {14.2.3, 14.8.3-14.8.5}

Существует *низкая степень достоверности* в проекциях небольшой задержки сезона дождей в Западной Африке при усилении дождей в конце сезона. Ограниченная точность модельных расчетов для региона предполагает *низкую степень достоверности* в проекциях. {14.2.4, 14.8.7}

ТР.5.8.2 Тропические явления

Изменение осадков меняется в пространстве, усиливаясь в некоторых регионах и ослабевая в некоторых других. Пространственное распределение изменений тропических дождевых осадков, *вероятно*, формируется современной климатологией и структурой потепления океана. Первый эффект заключается в увеличении выпадения дождевых осадков вблизи дождливых в настоящее время регионов, а второй эффект повышает дождевые осадки там, где потепление океана превышает среднее значение в тропиках. Существует *средняя степень достоверности* того, что проекции тропических дождевых осадков более надежны для сезонных, чем для годовых средних изменений. {7.6.2, 12.4.5, 14.3.1}

Существует *средняя степень достоверности* увеличения в будущем сезонных средних дождевых осадков на экваториальном фланге внутритропической зоны конвергенции и уменьшения осадков в

Таблица ТР.2 | Обзор проекций региональных изменений и их связь с основными климатическими явлениями. Явление считается значимым, когда имеется достаточная степень достоверности того, что оно влияет на данный регион, и когда имеется достаточная степень достоверности того, что явление изменится, в особенности в рамках сценария РТК4.5 или сценариев с более верхним пределом. См. раздел 14.8 и таблицы 14.2 и 14.3 для полной оценки достоверности этих изменений и их актуальности для регионального климата. {14.8; Таблицы 14.2, 14.3}

Регионы	Проекции основных изменений в связи с явлениями
Арктика {14.8.2}	Зимние изменения температуры и осадков в результате небольшого усиления, согласно проекции, Североатлантического колебания (САК); усиление потепления и таяния морских льдов; значительное увеличение осадков к середине века в основном вследствие увеличения осадков во время внетропических циклонов.
Северная Америка {14.8.3}	Сдвиг муссонных осадков к более позднему времени годового цикла; увеличение осадков в период внетропических циклонов приведет к существенному увеличению зимних осадков над северной третьей частью континента; увеличение экстремальных осадков в период тропических циклонов, выходящих на сушу вдоль западного побережья США и Мексики, Мексиканского залива и восточного побережья США и Канады.
Центральная Америка и Карибский бассейн {14.8.4}	Уменьшение, согласно проекции, среднего количества осадков и увеличение экстремальных осадков; более экстремальные осадки в период тропических циклонов, выходящих на сушу на восточном и западном побережье.
Южная Америка {14.8.5}	Смещение на юг зоны конвергенции Южной Атлантики повышает количество осадков на юго-востоке; положительный тренд Южной кольцевой моды изменяет траекторию внетропического шторма на направление к югу, уменьшая осадки в центральной части Чили и увеличивая их на южной оконечности Южной Америки.
Европа и Средиземноморье {14.8.6}	Повышение экстремальных осадков, связанных со штормами, и снижение повторяемости осадков, связанных со штормами, в восточной части Средиземноморья.
Африка {14.8.7}	Увеличение летних муссонных осадков в Западной Африке; повышение кратковременных осадков в Восточной Африке из-за режима потепления Индийского Океана; увеличение экстремальных дождевых осадков циклонов, выходящих на сушу на восточном побережье (включая Мадагаскар).
Центральная и Северная Азия {14.8.8}	Увеличение летних осадков; усиление зимнего потепления в Северной Азии.
Восточная Азия {14.8.9}	Увеличение летних муссонных осадков; увеличение экстремальных дождевых осадков тайфунов, выходящих на побережье; уменьшение воздействия внетропических циклонов в середине зимы.
Западная Азия {14.8.10}	Увеличение экстремальных дождевых осадков циклонов, выходящих на Аравийский полуостров; сокращение осадков в северо-западных районах Азии вследствие смещения к северу траекторий внетропических циклонов.
Южная Азия {14.8.11}	Увеличение летних муссонных осадков; увеличение экстремальных дождевых осадков циклонов, выходящих на побережье Бенгальского залива и Аравийского моря.
Юго-Восточная Азия {14.8.12}	Уменьшение осадков в Индонезии с июля по октябрь вследствие структуры потепления Индийского океана; увеличение экстремальных дождевых осадков циклонов, обрушивающихся на побережье Южно-Китайского моря, Таиландского залива и Андаманского моря.
Австралия и Новая Зеландия {14.8.13}	Возможное увеличение летних муссонных осадков над северной частью Австралии; более частые эпизоды в Южно-тихоокеанской зоне конвергенции могут уменьшить осадки в северо-восточной части Австралии; усиление потепления и уменьшение осадков в Новой Зеландии и южной части Австралии в результате прогнозируемого положительного тренда Южной кольцевой моды; увеличение экстремальных осадков, связанных с тропическими и внетропическими штормами.
Тихоокеанские острова {14.8.14}	Изменения тропической зоны конвергенции воздействуют на дождевые осадки и их экстремальные величины; более экстремальные осадки, связанные с тропическими циклонами.
Антарктида {14.8.15}	Усиление потепления на Антарктическом полуострове и в Западной Антарктике, связанное с положительным трендом Южной кольцевой моды; увеличение осадков в прибрежных районах в результате смещения траектории штормов в сторону полюса.

субтропиках, включая части Северной и Центральной Америки, Карибский бассейн, Южную Америку, Африку и Западную Азию. Имеется *средняя степень достоверности* того, что число межгодовых случаев зонально-ориентированных явлений в зоне конвергенции в южной части Тихого океана возрастет, что возможно приведет к более частым засухам в юго-западной части Тихого океана. Существует *средняя степень достоверности* того, что Южноатлантическая зона конвергенции сдвинется в южном направлении, что приведет к увеличению осадков над юго-восточной частью Южной Америки и их сокращению непосредственно к северу от зоны конвергенции. {14.3.1, 14.8.3-14.8.5, 14.8.7, 14.8.11, 14.8.14}

Тропическая часть Индийского океана, *вероятно*, будет характеризоваться зональной структурой с усилением потепления и сокращением осадков на востоке (включая Индонезию), с усилением потепления и увеличением дождевых осадков на западе (включая Восточную Африку). Мода межгодовой изменчивости Индоокеанского диполя, *весьма вероятно*, будет по-прежнему активной, воздействуя на экстремальные климатические явления в Восточной Африке, Индонезии и Австралии. {14.3.3, 14.8.7, 14.8.12}

Существует *низкая степень достоверности* в отношении проекций для тропической части Атлантики - как для средних, так и межгодовых мод, из-за значительных ошибок в модельных расчетах в регионе. Поэтому будущие проекции атлантических ураганов и тропических осадков в Южной Америке и Западной Африке имеют *низкую степень достоверности*. {14.3.4, 14.6.1, 14.8.5, 14.8.7}

В настоящее время невозможно оценить, как изменится колебание Маддена-Джулиана вследствие низкого качества модельных расчетов этого внутрисезонного явления и чувствительности к режимам потепления океана. Поэтому будущие проекции региональных экстремальных климатических явлений в Западной Азии, Юго-Восточной Азии и Австралии имеют *низкую степень достоверности*. {9.5.2, 14.3.4, 14.8.10, 14.8.12, 14.8.13}

ТР.5.8.3 Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК)

Существует *высокая степень достоверности* того, что в XXI веке Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) останется доминантной модой естественной изменчивости климата при глобальных воздействиях в XXI веке, и что изменчивость региональных дождевых осадков, которую оно вызывают, *вероятно*, усилится. Естественные колебания амплитуды и пространственной структуры ЭНЮК такие большие, что *степень достоверности* любого изменения, согласно проекции, для XXI века остается *низкой*. Прогнозируемое изменение амплитуды Эль-Ниньо небольшое как для РТК4.5, так и РТК8.5, в сравнении с разбросом изменения между моделями (рисунок ТР.25). В северной части Тихого Океана и Северной Америке режимы аномалий температуры и осадков, связанные с Эль-Ниньо и Ла-Нинья (дальние корреляционные связи), *вероятно*, сместятся в будущем в восточном направлении (*средняя степень достоверности*), в то время как *низкой* является *степень достоверности* изменений воздействия климата на другие регионы, включая Центральную и Южную Америку, Карибский бассейн, Африку, большую часть Азии, Австралию и

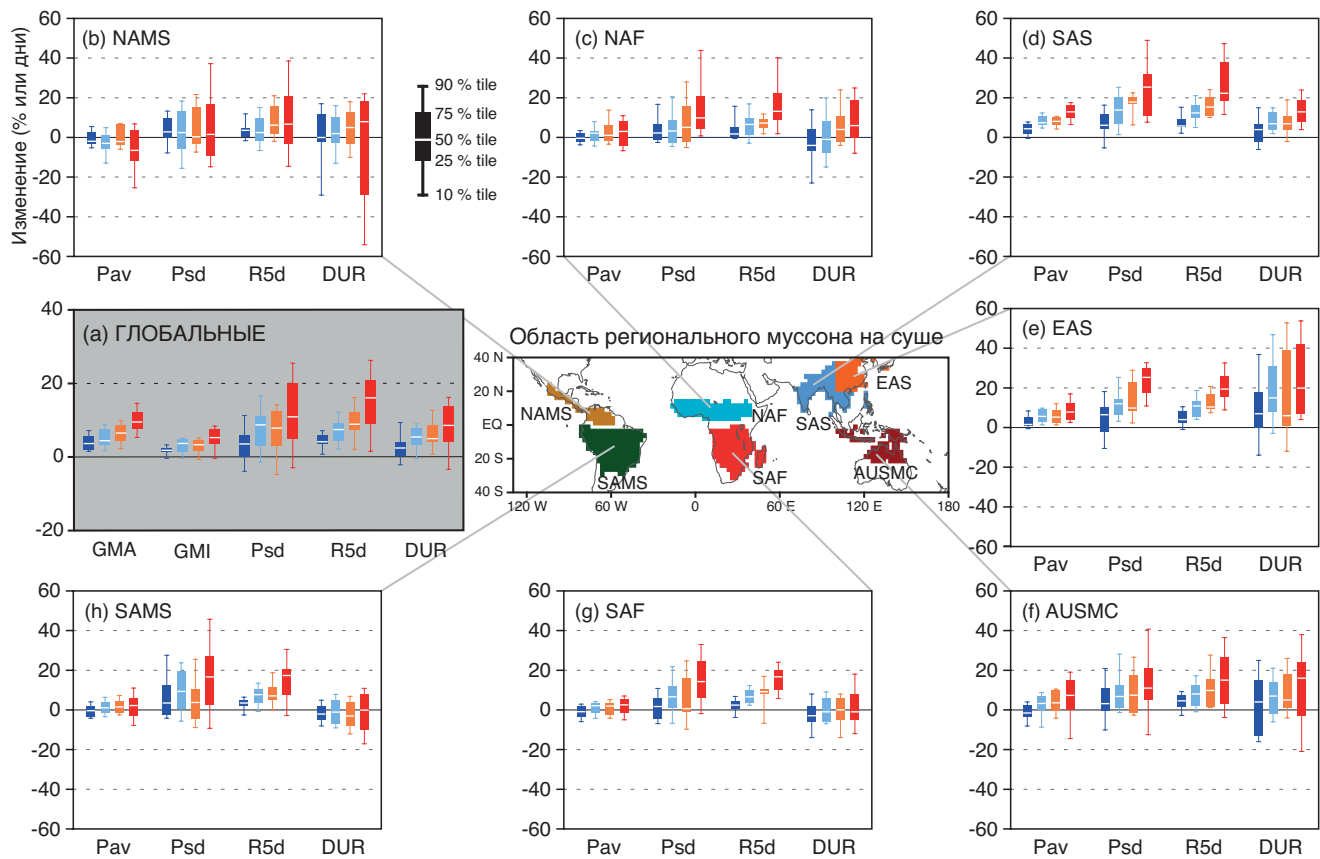


Рисунок TP.24 | Будущее изменение статистики муссонов между настоящим (1986-2005 гг.) и будущим (2080-2099 гг.) периодами на основе ансамбля CMIP5 в сценариях RPK2.6 (темно-синий; 18 моделей), RPK4.5 (синий; 24), RPK6.0 (желтый; 14) и RPK8.5 (красный; 26). (а) ГЛОБАЛЬНЫЕ: Глобальная муссонная область (GMA), глобальная муссонная интенсивность (GMI), стандартное отклонение межгодовой изменчивости в сезонных осадках (Psd), сезонный максимум суммарных осадков за 5 дней (R5d) и продолжительность муссонного сезона (DUR). Региональные муссонные области на суше, определенные по 24 моделям средних осадков в настоящее время. (b)-(h) Будущие изменения региональной статистики муссонов на суше: сезонные средние осадки (Pav), Psd, R5d, и DUR в (b) Северной Америке (NAMS), (c) Северной Африке (NAF), (d) Южной Азии (SAS), (e) Восточной Азии (EAS), (f) Австралии-Юго-Восточной Азии (AUSMC), (g) Южной Африке (SAF) и (h) Южной Америке (SAMS). Единицы - %, кроме DUR (дни). Вставки и графики в виде «ящика с усами» показывают 10-й, 25-й, 50-й, 75-й и 90-й процентиля. Все индексы рассчитаны для летнего сезона (с мая по сентябрь для Северного и с ноября по март для Южного полушария) по каждой модельной области муссона. {Рисунки 14.3, 14.4, 14.6, 14.7}

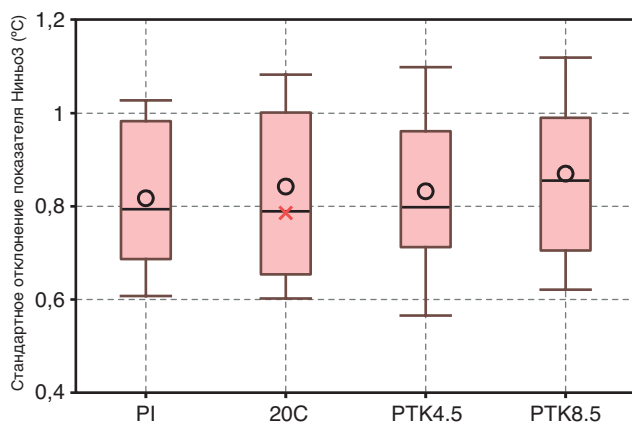


Рисунок TP.25 | Стандартное отклонение в мультимодельных ансамблях CMIP5 изменчивости температуры поверхности моря в восточном экваториальном районе Тихого Океана (район Ниньо3: 5° ю.ш. - 5° с.ш., 150° з.д. - 90° з.д.), мера амплитуды Эль-Ниньо для модельных расчетов контрольного доиндустриального периода (PI) и XX века (20C), и проекции XXI века с использованием RPK4.5 и RPK8.5. Открытые кружки обозначают средние значения мультимодельного ансамбля, а красный крестик - это наблюдавшееся стандартное отклонение для XX века. Вставки и графики в виде «ящика с усами» показывают 16-й, 25-й, 50-й, 75-й и 84-й процентиля. {Рисунок 14.14}

большую часть тихоокеанских островов. В более теплом климате повышение атмосферной влажности усиливает временную изменчивость осадков, даже если изменчивость циркуляции атмосферы не меняется. Это относится к изменчивости осадков, вызванной ЭНЮК, однако возможность изменений дальних корреляционных связей ЭНЮК делает это общее заключение более сложным в результате его определенной зависимости от конкретного региона. {12.4.5, 14.4, 14.8.3-14.8.5, 14.8.7, 14.8.9, 14.8.11-14.8.14}

TP.5.8.4 Циклоны

Проекции для XXI века показывают, что глобальная повторяемость тропических циклонов, *вероятно*, уменьшится или останется в основном неизменной, совпадая при этом с *вероятным* увеличением как средней глобальной максимальной скорости ветра, так и интенсивности дождевых осадков тропических циклонов (рисунок TP.26). Влияние будущего изменения климата на тропические циклоны, *вероятно*, меняется в зависимости от региона, однако существует *низкая степень достоверности* в отношении проекций для конкретных районов. Частота наиболее интенсивных штормов скорее *вероятно, чем нет*, увеличится в некоторых бассейнах. Более экстремальные осадки вблизи центров выходящих на сушу тропических циклонов прогнозируются в Северной и Центральной Америке, Восточной Африке, Западной, Восточной, Южной и Юго-Восточной Азии, а также в Австралии и на многих тихоокеанских островах (*средняя степень достоверности*). {14.6.1, 14.8.3, 14.8.4, 14.8.7, 14.8.9-14.8.14}



Маловероятно, что глобальное число внетропических циклонов уменьшится более, чем на несколько процентов и, вероятно, что будущие изменения в штормах будут небольшими в сравнении с естественной межгодовой изменчивостью и значительными колебаниями между моделями. Небольшое смещение к полюсу вероятно в траектории штормов в ЮП, но магнитуда этого изменения зависит от модели. Маловероятно, что реакция траектории штормов в Северной Атлантике в климатических проекциях представляет собой простое смещение к полюсу. Существует средняя степень достоверности прогнозируемого смещения к полюсу траектории штормов в северной части Тихого океана. Имеется низкая степень достоверности воздействия измененной траектории штормов на региональный климат у поверхности. Увеличение осадков внетропических циклонов приведет к увеличению зимних осадков в Арктике, Северной Европе, Северной Америке и в средних и высоких широтах ЮП. {11.3.2, 12.4.4, 14.6.2, 14.8.2, 14.8.3, 14.8.5, 14.8.6, 14.8.13, 14.8.15}

ТР.5.8.5 Кольцевая и диполярная моды изменчивости

Весьма вероятно, что Североатлантическое колебание (САК) в будущем в умеренно-холодный зимний период продемонстрирует большие естественные колебания, которые наблюдались в прошлом. САК, вероятно, станет несколько более положительным (в среднем), с некоторыми не очень хорошо документированными последствиями для зимних условий в Арктике,

Северной Америке и Евразии. Положительный тренд южного лета/осени в Южной кольцевой моде (ЮКМ), вероятно, значительно ослабнет по мере восстановления стратосферного озона в середине XXI века, с некоторыми не очень хорошо документированными последствиями для Южной Америки, Африки, Австралии, Новой Зеландии и Антарктиды. {11.3.2, 14.5.2, 14.8.5, 14.8.7, 14.8.13, 14.8.15}

ТР.5.8.6 Дополнительные явления

Маловероятно, что Атлантическое мультideкадное колебание (АМК) изменит свое поведение в качестве среднелиматических изменений. Однако, естественные флуктуации в АМК в предстоящие десятилетия, вероятно, окажут влияние на региональный климат по меньшей мере столь же сильное, что и изменения, вызванные антропогенной деятельностью, с последствиями для повторяемости крупных ураганов в Атлантике, Западноафриканского муссона и летних условий в Северной Америке и Европе. {14.2.4, 14.5.1, 14.6.1, 14.7.6, 14.8.2, 14.8.3, 14.8.6, 14.8.8}

Существует средняя степень достоверности того, что повторяемость блокирования в Северном и Южном полушариях не увеличится, хотя как тренды интенсивности, так и устойчивости блокирования остаются неопределенными. {Вставка 14.2}

ТР

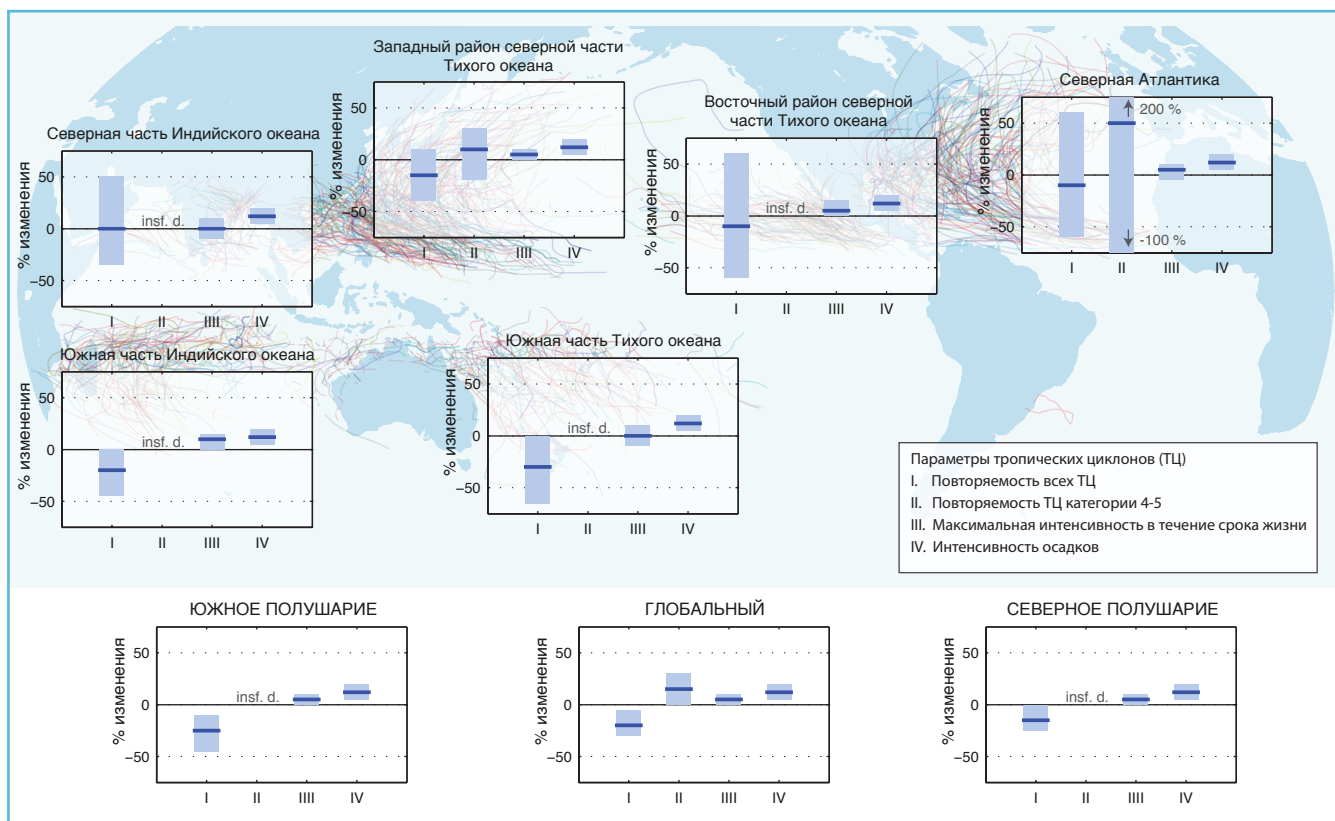


Рисунок ТР.26 | Проекция изменений в статистике тропических циклонов. Все величины представляют ожидаемое изменение в процентах в средних значениях за период 2081-2100 гг. в сравнении с периодом 2000-2019 гг. по сценарию, аналогичному сценарию А1В, основанному на экспертной оценке после субъективной нормализации модельных проекций. Рассматривались четыре количественных показателя: процентное изменение в I) общей годовой повторяемости тропических штормов, II) годовой повторяемости штормов категории 4 и 5, III) средней максимальной интенсивности в течение срока жизни (LMI; максимальной интенсивности, достигнутой в течение срока жизни шторма) и IV) интенсивности осадков в радиусе 200 км от центра шторма в период LMI. Для каждого показателя на графике сплошная синяя линия является наиболее вероятным предположением ожидаемого процентного изменения, и цветной столбик обеспечивает 67-процентный (вероятно) доверительный интервал для этой величины (следует отметить, что диапазон этого интервала составляет от -100 % до +200 % для ежегодной повторяемости штормов категории 4 и 5 в Северной Атлантике). Там, где количественный показатель на графике не указан, количество имеющихся данных недостаточно (обозначено X) для завершения оценки. Произвольно начерченные (и раскрашенные) выбранные исторические траектории штормов лежат в основе определения районов активности тропических циклонов. См. подробную информацию в разделе 14.6.1. {14.6.1}

Фокусный элемент темы

ФЭТ.9 | Экстремальные климатические явления

Оценка изменений экстремальных климатических явлений создает уникальные проблемы не только из-за свойственного этим явлениям редкого характера, но и потому, что они неизбежно происходят вместе с разрушительными условиями. На них оказывают сильное влияние как мелко- так и крупномасштабные системы погоды, режимы изменчивости, термодинамические процессы, обратные связи суши-атмосферы и предшествующие условия. Существенный прогресс был достигнут со времени Четвертого доклада об оценке МГЭИК (ДО4), включая всестороннюю оценку экстремальных явлений, предпринятую в Специальном докладе МГЭИК по управлению рисками экстремальных явлений и бедствий в целях содействия адаптации к изменению климата (СДЭБ), а также благодаря имеющимся данным наблюдений, нашему улучшенному пониманию и способности моделей воспроизводить экстремальные явления. {1.3.3, 2.6, 7.6, 9.5.4}

Для некоторых экстремальных климатических явлений, таких как засухи, наводнения и волны тепла, необходимо сочетание нескольких факторов для возникновения экстремального явления. Анализы более редких экстремальных явлений, таких как явления, происходящие от одного раза в 20 лет до одного раза в 100 лет, с использованием теории экстремальных величин все чаще встречаются во все большем количестве публикаций. Другие последние достижения связаны с концепцией «доли присущего риска», целью которой является привязка определенного экстремального явления к конкретным причинным взаимосвязям. {1.3.3, 2.6.1, 2.6.2, 10.6.2, 12.4.3; вставка 2.4}

Таблица 1, ФЭТ.9, показывает изменения, которые наблюдались в диапазоне экстремальных метеорологических и климатических явлений в течение последних 50 лет, оценку антропогенного вклада в эти изменения, и то каким образом эти экстремальные явления изменятся, как ожидается, в будущем. В таблице также содержится сравнение текущей оценки с оценками ДО4 и СДЭБ, когда это целесообразно. {2.6, 3.7, 10.6, 11.3, 12.4, 14.6}

Экстремальные температуры, волны тепла и жаркие периоды

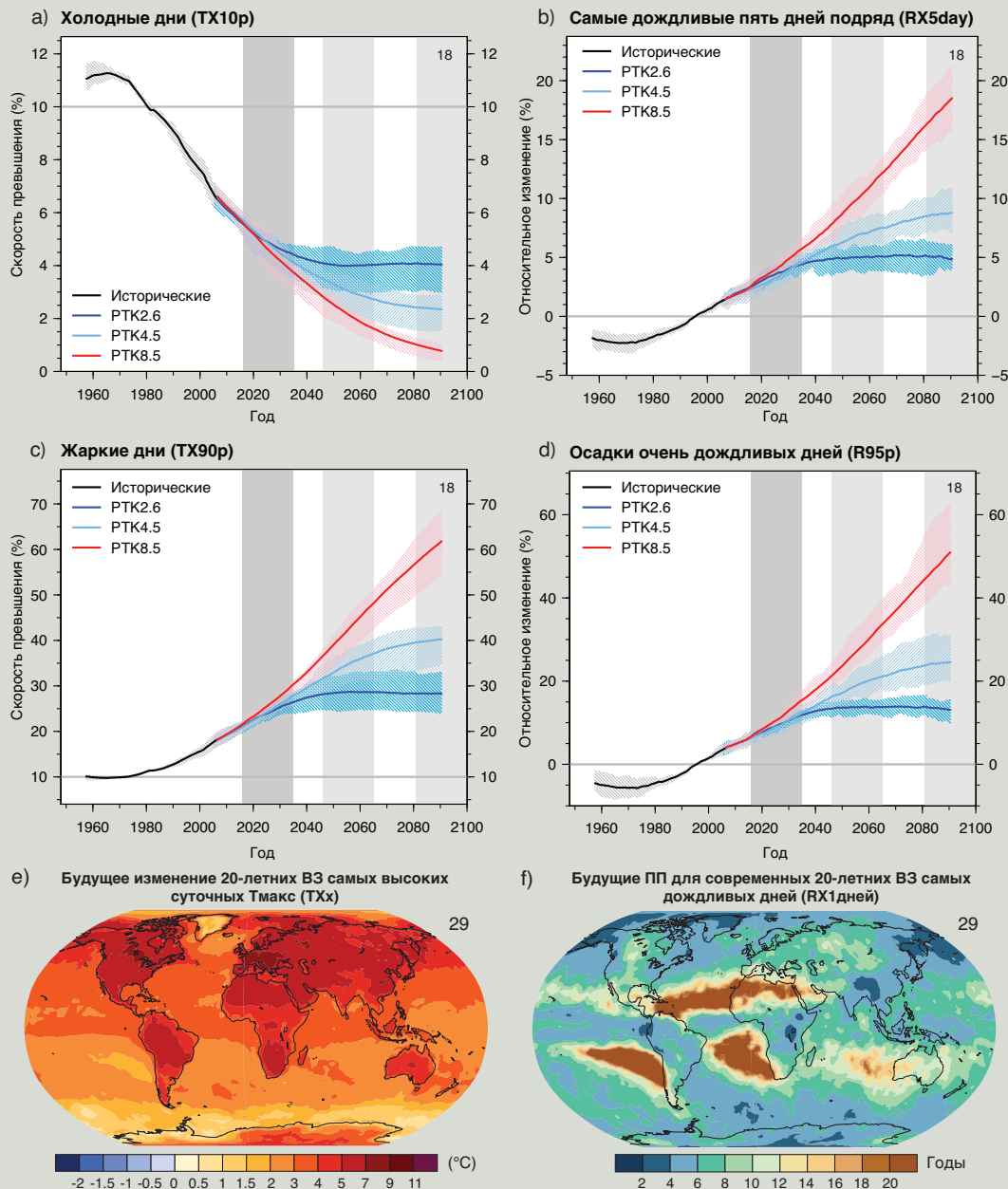
Весьма вероятно, что и максимальные и минимальные экстремальные температуры повысились в большинстве районов суши с середины XX века. Эти изменения хорошо воспроизводятся современными климатическими моделями, и *весьма вероятно*, что антропогенное воздействие повлияло на повторяемость этих экстремальных величин, и, *практически определено*, что произойдут дальнейшие изменения. Это поддерживает выводы ДО4 и СДЭБ, хотя и с большей достоверностью роли компонента антропогенного воздействия. {2.6.1, 9.5.4, 10.6.1, 12.4.3}

Для районов суши с достаточным количеством данных отмечается общее увеличение числа теплых дней и ночей. Наблюдаются такие же уменьшения числа холодных дней и ночей. *Весьма вероятно*, что увеличение количества необычно теплых дней и ночей и/или сокращение количества необычно холодных дней и ночей, включая морозы, происходили в течение этого времени на большинстве континентов. Жаркие периоды или волны тепла с последовательными экстремально жаркими днями или ночами часто связаны с квазистационарными аномалиями антициклональной циркуляции, и на них также влияют предшествующие состояния почвы и устойчивые аномалии влажности почвы, которые могут усилить или ослабить волны тепла, особенно в районах с ограниченной влажностью. В большинстве глобальных районов суши, за некоторым исключением, большее число волн тепла наблюдалось с середины XX века. Несколько исследований показывают, что повышение средней температуры объясняет большинство изменений в повторяемости волн тепла, однако интенсивность/амплитуда волн тепла чрезвычайно чувствительны к изменениям в изменчивости температуры и структуре распределения температуры, и определение волны тепла также играет существенную роль. Хотя в некоторых регионах в периоды инструментальных наблюдений до 1950-х гг. было больше волн тепла (например, США), для других районов, таких как Европа, увеличение повторяемости волн тепла с 1950-х гг. особенно выделяется в длинных исторических рядах температуры. {2.6, 2.6.1, 5.5.1; вставка 2.4; таблицы 2.12, 2.13; ЧЗВ 2.2}

Наблюдавшиеся характеристики экстремальных температур и волн тепла хорошо рассчитываются климатическими моделями и подобны разбросу оценок, основанных на данных наблюдений в большинстве регионов. Региональный даунскейлинг дает сейчас надежную информацию по пространственным масштабам, необходимым для оценки экстремальных явлений и улучшения моделирования Эль-Ниньо–Южное колебание от этапа 3 Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP3) до этапа 5 (CMIP5), и чрезвычайно важными являются другие крупномасштабные явления. Однако возможности модельных расчетов изменений повторяемости и интенсивности экстремальных явлений ограничиваются наличием данных наблюдений и проблемами качества, а также способностью моделей надежно рассчитывать определенные обратные связи и средние изменения ключевых характеристик циркуляции, таких как блокирование. {2.6, 2.7, 9.4, 9.5.3, 9.5.4, 9.6, 9.6.1, 10.3, 10.6, 14.4; вставка 14.2}

(продолжение на следующей странице)

ФЭТ.9 (продолжение)



ФЭТ.9, рисунок 1 | Глобальные проекции наступления (a) холодных дней (TX10p) – ежегодное количество дней в процентах с максимальной суточной приземной температурой (Tmax) ниже 10-го перцентиля Tmax с 1961 г. по 1990 г.; (b) самых дождливых пяти дней подряд (RX5дней) - процентное изменение относительно 1986-2005 гг. в годовой максимальной сумме осадков в течение пяти дней подряд; (c) жарких дней (TX90p) - ежегодное количество дней в процентах с максимальной суточной приземной температурой (Tmax), превышающей 90-й перцентиль Tmax с 1961 г. по 1990 г.; и (d) осадков очень дождливого дня (R95p) – процентное изменение относительно 1986-2005 гг. годового количества осадков от дней >95-го перцентиля. Показаны результаты CMIP5 для сценариев RTK2.6, RTK4.5 и RTK8.5. Сплошные линии показывают медианное значение по ансамблю, а штриховка обозначает интерквартильный разброс между отдельными проекциями (25-й и 75-й перцентили). На картах показано (e) изменение с 1986-2005 гг. по 2081-2100 гг. 20-летних возвращаемых значений (ВЗ) суточных максимальных температур, TXx, и (f) период повторяемости (ПП) (2081-2100 гг.) для редких значений суточных осадков, RX1день, которые имеют 20-летний период повторяемости в 1986-2005 гг. Обе карты основаны на сценарии RTK8.5 CMIP5. В каждой части рисунка показано количество моделей для расчета мультимодельного среднего. См. определения индексов во вставке 2.4, таблица 1. (Рисунки 1 1.1 7, 12.14, 12.26, 12.27)

TP

ФЭТ.9 (продолжение)

После ДО4 улучшилось понимание механизмов и обратных связей, вызывающих изменения экстремальных величин. Появляется все больше свидетельств антропогенного влияния на наблюдающуюся повторяемость экстремальных температур и волн тепла в некоторых регионах. Проекция на ближайшее время (десятилетние) предполагают *вероятные* повышения экстремальных температур, но с некоторой различной разницей между сценариями выбросов (ФЭТ.9, рисунок 1). Изменения могут проходить, однако, разными темпами в сравнении со средним потеплением, при этом в некоторых исследованиях показано, что, согласно проекциям, летние температуры высокого процентиля в Европе будут повышаться быстрее, чем средние температуры. Будущие изменения, связанные с повышением экстремальных температур в долгосрочном плане, произойдут *практически определено* и соответствуют по масштабу интенсивности выбросов, описанных в сценариях, т.е., более значительные антропогенные выбросы соответствуют большему увеличению экстремальных величин (ФЭТ.9, рисунок 1). Согласно сценариям с высоким уровнем выбросов *вероятно*, что в большинстве районов суши повторяемость максимальной температуры, наблюдаемой сейчас один раз в 20 лет, будет происходить в два раза чаще, но во многих регионах к концу XXI века это явление станет ежегодным или происходящим один раз в два года. Ожидается, что магнитуда как высоких, так и низких экстремальных температур будет увеличиваться, по меньшей мере, такими же темпами, что и значение средней температуры, однако, согласно проекциям, возвращаемые через 20 лет значения для явлений низкой температуры будут увеличиваться со скоростью, превышающей зимние средние температуры в большинстве регионов. {10.6.1, 11.3.2, 12.4.3}

Экстремальные осадки

Вероятно, что количество случаев выпадения сильных осадков на суше возросло в большем числе регионов, по сравнению с регионами, где они уменьшились с середины XX века, и существует *средняя степень достоверности* того, что этому увеличению способствовало антропогенное воздействие. {2.6.2, 10.6.1}

В период между CMIP3 и CMIP5 был достигнут значительный прогресс в способности моделей воспроизводить более реальные экстремальные осадки. Однако данные показывают, что большинство моделей недооценивают чувствительность экстремальных осадков к изменчивости температуры или трендам, в особенности в тропиках, что предполагает, что модели могут недооценивать прогнозируемое увеличение экстремальных осадков в будущем. Несмотря на то, что достигнут прогресс в понимании процессов, которые вызывают экстремальные осадки, остаются проблемы в количественном определении эффектов облаков и конвективных эффектов, например, в моделях. Сложность процессов на суше и в атмосфере ограничивает достоверность региональных проекций изменения осадков, особенно над районами суши, хотя и существует компонент реагирования над океанами в крупных масштабах по принципу «дождливый - более дождливый» и «сухой более сухой». Даже в таком случае, существует *высокая степень достоверности* того, что по мере потепления климата темпы роста экстремальных осадков (например, в суточном временном масштабе) будут повышаться быстрее среднего временного значения. Ожидается, что изменения в локальных экстремальных величинах в ежесуточном и более мелком временном масштабе увеличатся на 5 – 10 % на °C потепления (*средняя степень достоверности*). {7.6, 9.5.4}

В ближайшей и долгосрочной перспективе проекции CMIP5 подтверждают явную тенденцию к увеличению числа явлений сильных осадков в глобальном среднем значении, фигурирующем в ДО4, однако имеются существенные различия в зависимости от района (ФЭТ.9, рисунок 1). В большинстве районов суши в средних широтах и во влажных тропических регионах *весьма вероятно* увеличение интенсивности и повторяемости экстремальных осадков в условиях более теплого мирового климата. {11.3.2, 12.4.5}

Паводки и засухи

По-прежнему отсутствуют данные, и, таким образом, имеется *низкая степень достоверности* в отношении знака тренда в магнитуде и/или повторяемости паводков в глобальном масштабе за период инструментальных наблюдений. Существует *высокая степень достоверности* того, что более масштабные паводки в прошлом по сравнению с паводками, наблюдавшимися после 1900 г., происходили в течение последних пяти веков в северных и центральных районах Европы, в западной части Средиземноморья и в восточном районе Азии. Существует *средняя степень достоверности* того, что современные паводки сравнимы или превосходят исторические паводки по величине и/или повторяемости на Ближнем Востоке, в Индии и центральных районах Северной Америки. {2.6.2, 5.5.5}

Веские аргументами как за, так и против значительного увеличения территорий суши, затронутых засухой и/или сухой погодой с середины XX века, стали причиной *низкой степени достоверности* оценки наблюдавшихся и характерных крупномасштабных трендов. Это в основном вызвано нехваткой непосредственных наблюдений и их качеством, зависимостями выведенных трендов от выбора индекса, географической несогласованностью в трендах и трудностями отличия изменчивости в десятилетних масштабах от долгосрочных трендов. В масштабах тысячелетий существует *высокая степень достоверности* того, что косвенная информация предоставляет свидетельства о засухах большей величины и продолжительности, чем те, которые наблюдались в XX веке во многих регионах. Существует *средняя степень достоверности* того, что в муссонной Азии имело место большее число мегазасух, и более влажные условия преобладали в засушливой Центральной Азии и в южноамериканском муссонном регионе во время малого ледникового периода (1450 г. по 1850 г.) по сравнению со средневековой аномалией климата (950–1250 гг.). {2.6.2, 5.5.4, 5.5.5, 10.6.1}

(продолжение на следующей странице)

ФЭТ.9 (продолжение)

В соответствии со сценарием репрезентативной траектории концентраций РТК8.5, проекции показывают, что к концу века повышение риска засух *вероятно (средняя степень достоверности)* в засушливых в настоящее время регионах и связано с прогнозируемым уменьшением влажности почвы в масштабе от регионального до глобального. Снижение влажности почвы является наиболее существенным в Средиземноморье, юго-западной части США и южной части Африки, согласуется с прогнозируемыми изменениями в циркуляции Хэдли и с повышением приземных температур, и, по сценарию РТК8.5, высыхание поверхности в этих регионах *вероятно (высокая степень достоверности)* произойдет к концу. {12.4.5}

Экстремальный уровень моря

Вероятно, что магнитуа явлений экстремально высокого уровня моря возросла с 1970 г., и что большей частью это повышение можно объяснить повышением среднего уровня моря. Когда изменения среднего уровня моря принимаются во внимание, то изменения в экстремально высоких уровнях моря сокращаются до менее 5 мм год⁻¹ по показаниям 94 % мареографов. В будущем, *весьма вероятно*, произойдет значительное увеличение числа случаев экстремального повышения уровня моря, и, подобно наблюдениям в прошлом, это повышение явится в основном результатом повышения среднего уровня моря. {3.7.5, 13.7.2}

Тропические и внетропические циклоны

Существует *низкая степень достоверности* долгосрочных (столетних) изменений активности тропических циклонов после того, как были учтены произошедшие изменения в возможностях наблюдений. Тем не менее, в течение спутниковой эпохи наблюдений повышение повторяемости и интенсивности самых сильных штормов в Северной Атлантике являются достоверным (*очень высокая степень достоверности*). Однако причина этого повышения обсуждается, и имеется *низкая степень достоверности* объяснения изменений активности тропических циклонов антропогенным влиянием вследствие недостаточности данных наблюдений, отсутствия физического понимания связей между антропогенными факторами, способствующими изменению климата, и активностью тропических циклонов, и низкого уровня согласованности исследований в плане относительной важности внутренней изменчивости и антропогенного и естественного воздействий. {2.6.3, 10.6.1, 14.6.1}

Некоторые атмосферные модели с высокой разрешающей способностью реально рассчитывали траектории и количество тропических циклонов, и, в целом, после ДО4 модели способны зафиксировать общие характеристики траекторий штормов и внетропических циклонов с более высоким качеством. Ситуация с погрешностями траекторий штормов в Северной Атлантике несколько улучшилась, но модели все еще дают траекторию, которая имеет чрезмерно зональный характер, и недооценивают интенсивность циклонов. {9.4.1, 9.5.4}

Хотя проекции показывают, что глобальная повторяемость тропических циклонов, вероятно, или уменьшится или останется в основном без изменений, совпадая при этом с *вероятным усилением* как максимальной скорости ветра, так и интенсивности осадков глобальных средних тропических циклонов, существует низкая степень достоверности проекций повторяемости и интенсивности по конкретным регионам. Тем не менее, вследствие улучшения разрешающей способности моделей и методов даунскейлинга, *скорее вероятно, чем нет*, что повторяемость наиболее сильных штормов значительно возрастет в некоторых бассейнах в соответствии с прогнозируемым потеплением в XXI веке (см. рисунок ТР.26). {11.3.2, 14.6.1}

Результаты исследований после ДО4 и СДЭБ продолжают свидетельствовать в пользу *вероятного* смещения к полюсу траекторий штормов с 1950-х гг. Однако в течение последнего века существует *низкая степень достоверности* четкого тренда возмущенности из-за несоответствий между исследованиями или отсутствия долгосрочных данных в некоторых частях мира (особенно в Южном полушарии (ЮП)). {2.6.4, 2.7.6}

Несмотря на систематические ошибки в модельных расчетах траекторий штормов, большинство моделей и исследования согласуются в том, что *маловероятно* уменьшение глобального количества внетропических циклонов более чем на несколько процентов. *Вероятно* небольшое смещение траектории штормов к полюсу в ЮП. *Скорее вероятно, чем нет (средняя степень достоверности)* прогнозируемое смещение к полюсу траектории штормов в северной части Тихого океана, но *маловероятно*, что реакцией траектории штормов в Северной Атлантике будет простое смещение к полюсу. Существует *низкая степень достоверности* величины региональных изменений траектории штормов и воздействия таких изменений на региональный приземный климат. {14.6.2}

ТР.6 Ключевые неопределенности

Этот заключительный раздел Технического резюме предоставляет читателю краткий обзор ключевых неопределенностей в понимании климатической системы и способности прогнозировать изменения в реакции на антропогенное влияние. Обзор не является всесторонним и не описывает подробно обоснования этих результатов. Они содержатся в основном тексте данного Технического резюме и соответствующих главах, ссылки на которые даются в фигурных скобках.

ТР.6.1 Ключевые неопределенности в наблюдении изменений в климатической системе

- Существует только *средняя - низкая степень достоверности* в отношении темпов изменения потепления в тропосфере и ее вертикальной структуры. Оценки темпов потепления в тропосфере включают оценки темпов повышения приземной температуры. Существует *низкая степень достоверности* в отношении темпов и вертикальной структуры похолодания в стратосфере. {2.4.4}
- *Достоверность* изменения глобальных осадков над сушей низкая до 1951 г. и *средняя* после этого года из-за неполных данных. {2.5.1}
- Остается значительная неопределенность и отсюда *низкая степень достоверности* в отношении наблюдений изменчивости и трендов облачности в глобальном масштабе. {2.5.6}
- Существует *низкая степень достоверности* наблюдавшегося в глобальном масштабе тренда засухи или сухой погоды (отсутствие дождей) вследствие отсутствия прямых наблюдений, методологических неопределенностей и выбора, и географических несоответствий в трендах. {2.6.2}
- Существует *низкая степень достоверности* того, что любые сообщенные долгосрочные (столетние) изменения в характеристиках тропических циклонов надежны после учета изменений в возможностях наблюдений в прошлом. {2.6.3}
- Надежные выводы в отношении долгосрочных изменений в крупномасштабной циркуляции атмосферы в настоящее время невозможны из-за большой изменчивости масштабов от межгодового до десятилетнего и сохраняющихся различий между наборами данных. {2.7}
- Разные глобальные оценки температур в подповерхностном слое океана колеблются в разное время и для различных периодов, что говорит о том, что изменчивость температуры и теплосодержания в верхних слоях океана (от 0 до 700 м) в пределах десятилетия все еще плохо охарактеризована в исторических рядах. {3.2}
- Ниже глубины океана в 700 м пробоотбор в пространственном и временном масштабе имеет слишком большую дискретность для получения оценок годовой глобальной температуры океана и теплосодержания в период до 2005 г. {3.2.4}
- Охват наблюдениями глубин океана более 2000 м имеет все еще ограниченный характер, что затрудняет выполнение более надежных оценок изменений в глобальном теплосодержании океана и концентрациях углерода. Это также ограничивает количественное определение вклада потепления глубинных слоев океана в повышение уровня моря. {3.2, 3.7, 3.8; вставка 3.1}
- Количество непрерывных временных рядов наблюдений по измерению устойчивости характеристик циркуляции океана, имеющих отношение

к климату (например, меридиональной опрокидывающей циркуляции) ограничено, и имеющиеся временные ряды все еще слишком короткие для оценки десятилетних и более долгосрочных трендов. {3.6}

- Имеющихся данных недостаточно для оценки состояния изменения многих характеристик морского льда в Антарктиде (например, толщины и объема). {4.2.3}
- В глобальном масштабе пока еще отсутствует комплексная оценка потери массы в результате таяния на фронтах отламывания и отламывания айсбергов. Самая большая неопределенность в оценке потери массы ледников касается Антарктики, и по-прежнему мало рядов данных наблюдений за взаимодействиями льда-океана вокруг обоих ледяных щитов. {4.3.3, 4.4}

ТР.6.2 Ключевые неопределенности факторов, влияющих на изменение климата

- Неопределенности во взаимодействиях аэрозолей - облачности и связанное с ними радиационное воздействие по-прежнему значительны. В результате, неопределенности воздействия аэрозолей остаются доминантным фактором, вносящим вклад в общую неопределенность в суммарном воздействии аэрозолей, несмотря на улучшенное понимание некоторых значимых атмосферных процессов и наличие глобального спутникового мониторинга. {2.2, 7.3-7.5, 8.5}
- Обратная связь облачности, *вероятно*, положительная, но ее количественное определение остается затруднительным. {7.2}
- Палеоклиматические реконструкции и модели системы Земля показывают существование положительной обратной связи между климатом и углеродным циклом, однако *степень достоверности* устойчивости этой обратной связи, особенно для суши, остается *низкой*. {6.4}

ТР.6.3 Ключевые неопределенности в понимании климатической системы и ее недавних изменений

- Качество модельных расчетов облаков в МОЦАО несколько повысилось после Д04; тем не менее, эта проблема сохраняется. {7.2, 9.2.1, 9.4.1, 9.7.2}
- Неопределенности данных наблюдений для климатических переменных, иных нежели температура, неопределенности данных о факторах воздействия, таких как аэрозоли, и ограничения в понимании процессов продолжают препятствовать установлению причин изменений многих аспектов климатической системы. {10.1, 10.3, 10.7}
- Модельные расчеты изменений водного цикла остаются менее надежными, как в плане самих изменений, так и внутренней изменчивости, ограничивая достоверность оценок, объясняющих их причины. Неопределенности результатов наблюдений и существенный эффект внутренней изменчивости наблюдавшихся осадков также не позволяет выполнить более достоверную оценку причин изменений осадков. {2.5.1, 2.5.4, 10.3.2}
- Моделирование неопределенностей, связанных с разрешающей способностью моделей и включением соответствующих процессов, становится более важным в региональных масштабах, и повышается значение эффектов внутренней изменчивости. Поэтому остаются проблемы с объяснением причин наблюдавшегося изменения внешним воздействием в региональных масштабах. {2.4.1, 10.3.1}
- Способность проведения модельных расчетов изменений повторяемости и интенсивности экстремальных явлений ограничена возможностями

моделей достоверно воспроизводить средние изменения в ключевых характеристиках. {10.6.1}

- По некоторым аспектам климатической системы, включая изменения в засухе, изменения в активности тропических циклонов, потеплении в Антарктике, площадь антарктического морского льда и баланс массы в Антарктике, *степень достоверности* объяснения этих изменений антропогенным влиянием остается *низкой* вследствие неопределенностей модельных расчетов и низкой согласованности научных исследований. {10.3.1, 10.5.2, 10.6.1}

ТР.6.4 Ключевые неопределенности в проекциях изменения глобального и регионального климата

- Согласно результатам моделей существует ограниченная достоверность предсказуемости средних годовых - десятилетних величин температуры как в плане глобального среднего, так и некоторых географических регионов. Мультимодельные результаты по осадкам показывают в целом плохую предсказуемость. Краткосрочная проекция климата также ограничена неопределенностью в проекциях естественного воздействия. {11.1, 11.2, 11.3.1, 11.3.6; вставка 11.1}
- Существует *средняя степень достоверности* краткосрочных проекций смещения к северу траекторий штормов и западных ветров в СП. {11.3.2}
- В целом, существует *низкая степень достоверности* проекций значимых трендов повторяемости и интенсивности тропических циклонов в масштабе бассейнов в XXI веке. {11.3.2, 14.6.1}
- Проекция изменения во влажности почвы и поверхностном стоке не являются надежными во многих регионах. {11.3.2, 12.4.5}
- Несколько компонентов или явлений в климатической системе могли бы потенциально проявить внезапные или нелинейные изменения, но для многих явлений существует *низкая степень достоверности*, и практически нет единого мнения о правдоподобии таких событий в течение XXI века. {12.5.5}
- Существует *низкая степень достоверности* в отношении величины потерь углерода за счет выбросов CO₂ или CH₄ в атмосферу в результате таяния многолетней мерзлоты. Имеется *низкая степень достоверности* проекций будущих выбросов CH₄ из природных источников в результате изменений водно-болотных угодий и высвобождения газовых гидратов со дна моря. {6.4.3, 6.4.7}
- Существует *средняя степень достоверности* проекций воздействий на повышение уровня моря, составленных моделями динамики ледяного щита для XXI века, и *низкая степень достоверности* их проекций после 2100 г. {13.3.3}
- Существует *низкая степень достоверности* проекций полуэмпирических моделей, касающихся повышения глобального среднего уровня моря, и нет единого мнения в научном сообществе относительно их надежности. {13.5.2, 13.5.3}
- Существует *низкая степень достоверности* в проекциях многих аспектов климатических явлений, которые оказывают влияние на изменение регионального климата, включая изменения в амплитуде и пространственной структуре режимов изменчивости климата. {9.5.3, 14.2-14.7}

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ

Часто задаваемые вопросы

Эти часто задаваемые вопросы были взяты из глав основного доклада и собраны в этом разделе. При ссылке на конкретные ЧЗВ просим указывать соответствующую главу в докладе, по которой возник ЧЗВ (например, ЧЗВ 3.1 относится к главе 3).

Содержание

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 1.1	Если понимание климатической системы улучшилось, то почему не уменьшился диапазон проекций температуры?	121	ЧЗВ 9.1	Улучшаются ли климатические модели и как мы могли бы узнать об этом?.....	157
ЧЗВ 2.1	Откуда мы знаем о потеплении в мире?	123	ЧЗВ 10.1	Климат всегда меняется. Как мы определяем причины наблюдаемых изменений?	159
ЧЗВ 2.2	Произошли ли какие-либо изменения климатических экстремумов?.....	125	ЧЗВ 10.2	Когда антропогенные воздействия на климат станут очевидными в местных масштабах?.....	161
ЧЗВ 3.1	Происходит ли потепление океана?	127	ЧЗВ 11.1	Если вы не можете предсказать погоду на следующий месяц, то как вы можете предсказывать климат на предстоящее десятилетие?	163
ЧЗВ 3.2	Есть ли свидетельство изменений водного цикла Земли?	129	ЧЗВ 11.2	Как извержения вулканов влияют на климат и нашу способность предсказывать климат?	165
ЧЗВ 3.3	Как антропогенное закисление океана связано с изменением климата?	131	ЧЗВ 12.1	Почему используется так много моделей и сценариев для проекции изменения климата?	167
ЧЗВ 4.1	Как изменяется морской лед в Арктике и Антарктике?	133	ЧЗВ 12.2	Как изменится водный цикл Земли?	169
ЧЗВ 4.2	Исчезают ли ледники в горных районах?	135	ЧЗВ 12.3	Что произошло бы с будущим климатом, если бы мы прекратили выбросы сегодня?....	171
ЧЗВ 5.1	Является ли Солнце главным фактором, вызвавшим недавние изменения климата?....	137	ЧЗВ 13.1	Почему изменение локального уровня моря отличается от глобального среднего показателя?.....	173
ЧЗВ 5.2	Насколько необычными являются темпы изменения нынешнего уровня моря?	139	ЧЗВ 13.2	Будут ли Гренландский и Антарктический ледяные щиты способствовать изменению уровня моря в оставшуюся часть столетия? ..	175
ЧЗВ 6.1	Может ли существенно усилить потепление быстрый выброс метана и диоксида углерода, образующийся в результате таяния многолетней мерзлоты или потепления океана?	141	ЧЗВ 14.1	Как изменение климата влияет на муссоны? ..	179
ЧЗВ 6.2	Что происходит с диоксидом углерода после его выброса в атмосферу?	143	ЧЗВ 14.2	Как будущие проекции регионального климата связаны с проекциями глобальных средних показателей?.....	181
ЧЗВ 7.1	Как облака влияют на климат и изменение климата?.....	145			
ЧЗВ 7.2	Как аэрозоли влияют на климат и изменение климата?.....	147			
ЧЗВ 7.3	Может ли геоинжиниринг противодействовать изменению климата и какие побочные эффекты могли бы иметь место?.....	149			
ЧЗВ 8.1	Насколько важен водяной пар для изменения климата?.....	153			
ЧЗВ 8.2	Влияют ли улучшения качества воздуха на изменение климата?.....	155			

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 1.1 | Если понимание климатической системы улучшилось, то почему не уменьшился диапазон проекций температуры?

Модели, используемые для расчета проекций температуры МГЭИК, согласуются в части направления будущих глобальных изменений, однако прогнозируемая величина этих изменений не может быть точно предсказана. Будущие выбросы парниковых газов (ПГ) могут изменяться по любой из многих возможных траекторий, а некоторые фундаментальные физические процессы еще не до конца поняты, что затрудняет их моделирование. Эти неопределенности, в сочетании с естественной межгодовой изменчивостью климата, создают “диапазон неопределенности” в проекциях температуры.

Диапазон неопределенности в величинах предполагаемых выбросов ПГ и газов - предшественников аэрозолей (которые зависят от проекций будущих социальных и экономических условий) не может быть существенно уменьшен. Тем не менее, улучшенное понимание процессов и использование моделей климата, наряду с преодолением ограничений в области наблюдений, могут уменьшить интервал неопределенности в части некоторых факторов, которые влияют на реакцию климата на эти изменения выбросов. Однако сложность климатической системы делает этот процесс медленным. (ЧЗВ 1.1, рисунок 1)

Наука о климате достигла многих важных успехов с момента последнего доклада МГЭИК об оценке благодаря совершенствованию измерений и анализа данных в криосфере, атмосфере, на суше, в биосфере и океане. Ученые также обладают лучшим пониманием и инструментами для моделирования роли облаков, морского льда, аэрозолей, мелкомасштабного перемешивания океана, углеродного цикла и других процессов. Увеличение объема наблюдений означает, что модели теперь могут быть более тщательно проверены, а при разработке проекций использованы более обоснованные ограничения. Например, по мере улучшения моделей и анализа наблюдений, проекции повышения уровня моря стали более точными, обеспечивающими баланс современного подъема уровня моря.

Несмотря на эти продвижения вперед, все еще имеется целый диапазон вероятных проекций будущего глобального и регионального климата - то, что ученые называют “интервалом неопределенности”. Эти интервалы неопределенности специфичны для каждой из рассматриваемых переменных (например, количество осадков в зависимости от температуры) и пространственного и временного масштабов (как, например, региональное или глобальное осреднение). Неопределенность в проекциях климата является результатом естественной изменчивости и неопределенности относительно будущей интенсивности выбросов и реакции на них климата. Они могут также быть обусловлены тем, что представление в моделях некоторых известных процессов пока еще несовершенно, а некоторые процессы не учтены в моделях.

Имеются фундаментальные пределы того, с какой точностью могут быть получены проекции температуры, что обусловлено хаотической природой климатической системы. Кроме того, проекции десятилетия чувствительны к преобладающим условиям, таким как температура в глубоких слоях океана, которые мало известны. Некоторая естественная изменчивость за десятилетия является результатом взаимодействия между океаном, атмосферой, сушей, биосферой и криосферой, и также связана с такими явлениями, как Эль-Ниньо - Южное колебание (ЭНЮК) и Североатлантическое колебание (см. подробности о структурах и индексах изменчивости климата во вставке 2.5).

Извержения вулканов и колебания интенсивности солнечного излучения также способствуют естественной изменчивости, хотя они обусловлены внешними факторами и объяснимы. Эта естественная изменчивость может рассматриваться как часть «шума» в климатических данных, создающего фон, на котором выявляется «сигнал» антропогенного изменения климата.

Естественная изменчивость имеет большее влияние на неопределенность в региональных и локальных масштабах, чем на континентальном или глобальном масштабах. Это присуще системе Земля и увеличение объема знаний не устранил связанную с этим неопределенность. Однако, некоторый прогресс возможен, особенно для проекций до нескольких лет вперед, в которых используются достижения в знании, например, состояния и процессов в криосфере или океане. Это область активного исследования. Когда климатические переменные усредняются во временных масштабах в десятилетия или более, то относительная важность внутренней изменчивости уменьшается, делая долгопериодные сигналы более очевидными (ЧЗВ 1.1, рисунок 1). Эта долгосрочная перспектива совместима с общепринятым определением климата как среднего состояния за более чем 30 лет.

Второй источник неопределенности связан с многообразием возможных траекторий, по которым может следовать интенсивность выбросов парниковых газов и предшественников аэрозоля в будущем, и от будущих тенденций в землепользовании. Однако проекции климата зависят от задания этих переменных. Таким образом, чтобы получить эти оценки, ученые рассматривают целый ряд альтернативных сценариев будущего развития человеческого общества с точки зрения населения, экономического и технического прогресса и политического выбора. Затем они оценивают вероятные выбросы согласно каждому сценарию. С учетом того, что МГЭИК оказывает влияние на формирование политики, проекции климата для различных сценариев выбросов могут быть полезными, поскольку они показывают возможные климатические последствия выбора разных вариантов политики. Эти сценарии предназначены для того, чтобы быть совместимыми с полным спектром сценариев выбросов, описанных в современной научной литературе, при наличии или отсутствии политики в области климата. В этом качестве они разработаны с целью исследования неопределенности в будущих сценариях. *(продолжение на следующей странице)*

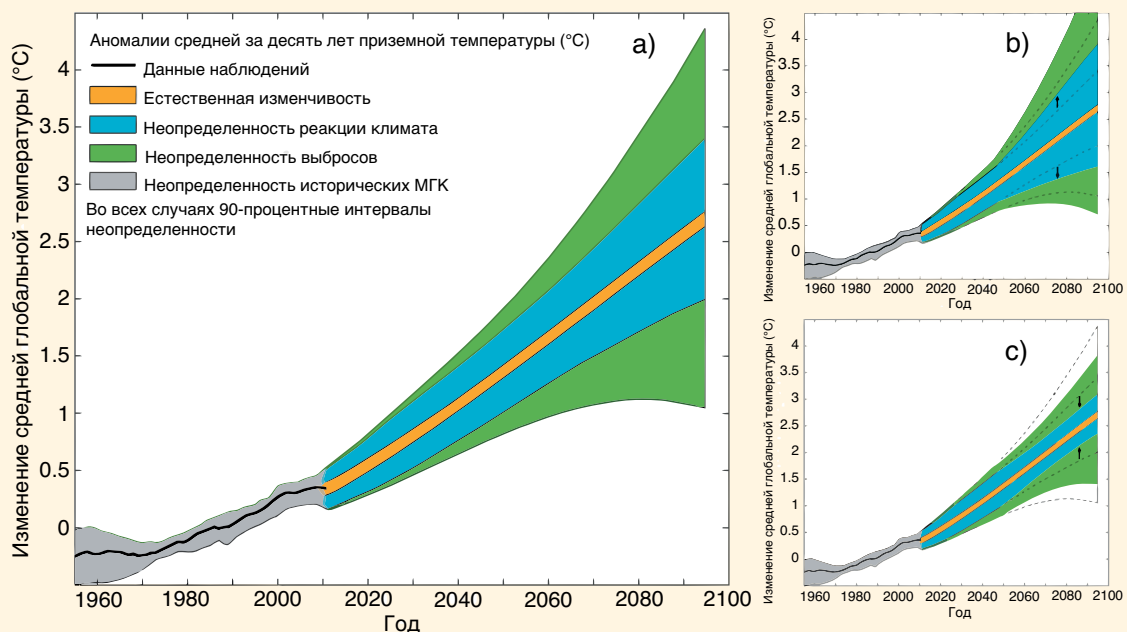
ЧЗВ 1.1 (продолжение)

Проекции на следующие несколько лет и десятилетий чувствительны к выбросам короткоживущих соединений, таких как аэрозоли и метан. Более отдаленные проекции, однако, более чувствительны к альтернативным сценариям, связанным с выбросами долгоживущих ПГ. Эти зависящие от сценария неопределенности не уменьшаются благодаря развитию науки о климате и станут доминирующей неопределенностью в проекциях на более длительные периоды времени (например, 2100 г.) (ЧЗВ 1.1, рисунок 1).

Окончательный вклад в диапазон неопределенности вносит неполнота наших знаний о том, как климат будет реагировать на будущие антропогенные выбросы и изменения в землепользовании. Ученые преимущественно используют компьютерные модели глобального климата, чтобы оценить эту реакцию. Несколько десятков моделей глобального климата были разработаны различными группами ученых во всем мире. Все модели основаны на одинаковых физических принципах, но из-за сложности климатической системы приходится делать некоторые упрощения. Различные группы выбирают несколько различающиеся приближения для представления определенных процессов в атмосфере, таких как облака. Этот выбор вызывает различия в проекциях климата по различным моделям. Этот вклад в диапазон неопределенности описывается как «неопределенность реакции» или «модельная неопределенность».

Сложность системы Земля означает, что в будущем климат может развиваться по многим различным сценариям и все же быть совместимым с текущим пониманием и моделями. По мере удлинения периода наблюдений и улучшения моделей, исследователи должны быть в состоянии сузить, в пределах диапазона естественной изменчивости, этот диапазон в части вероятной температуры в следующие несколько десятилетий (ЧЗВ 1.1, рисунок 1). Также возможно использование информации о текущем состоянии океанов и криосферы с тем, чтобы создать лучшие проекции на нескольких лет вперед.

По мере развития науки в модели климата могут быть включены новые геофизические процессы, а описание уже включенных может быть усовершенствовано. Может показаться, что эти достижения увеличивают полученные посредством моделей оценки неопределенности реакции климата, но такое увеличение просто отражает количественный учет ранее не оцененных источников неопределенности (ЧЗВ 1.1, рисунок 1). По мере добавления в модели все большего и большего числа значимых процессов, влияние количественно неопределенных процессов уменьшается и достоверность проекций увеличивается.



ЧЗВ 1.1, рисунок 1 | Схематическая диаграмма, показывающая относительную важность различных видов неопределенности и их эволюцию во времени. а) Изменения средней за десять лет приземной температуры (°C) по историческим данным (черная кривая) с оценками неопределенности по климатическим моделям за исторический период (серая область), совместно с проекциями будущего климата и интервалами неопределенности. Значения нормированы на среднее за период с 1961 до 1980 гг. Естественная изменчивость (оранжевая область) определена из межгодовой изменчивости, полученной по модельным расчетам, и принята постоянной во времени. Неопределенность в интенсивности выбросов (зеленая область) оценена как среднее различие в проекциях, полученных при расчете по одной модели при разных сценариях. Неопределенность реакции климата (голубая область) основана на разбросе результатов расчетов по климатическим моделям, вместе с дополнительной неопределенностью, связанной с углеродным циклом, а также грубыми оценками дополнительной неопределенности из-за плохо моделируемых процессов. По данным Hawkins and Sutton (2011) and Huntingford et al. (2009). б) Может показаться, что неопределенность реакции климата увеличивается, когда обнаруживается новый существенный процесс, но такое увеличение отражает количественный учет ранее не оцененных источников неопределенности, или (c) может уменьшиться по мере дальнейшего совершенствования моделей и увеличения количества данных наблюдений. Приведенный диапазон неопределенности в 90 % означает, что, согласно оценке, температура будет находиться в этом диапазоне с вероятностью 90 %.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 2.1 | Откуда мы знаем о потеплении в мире?

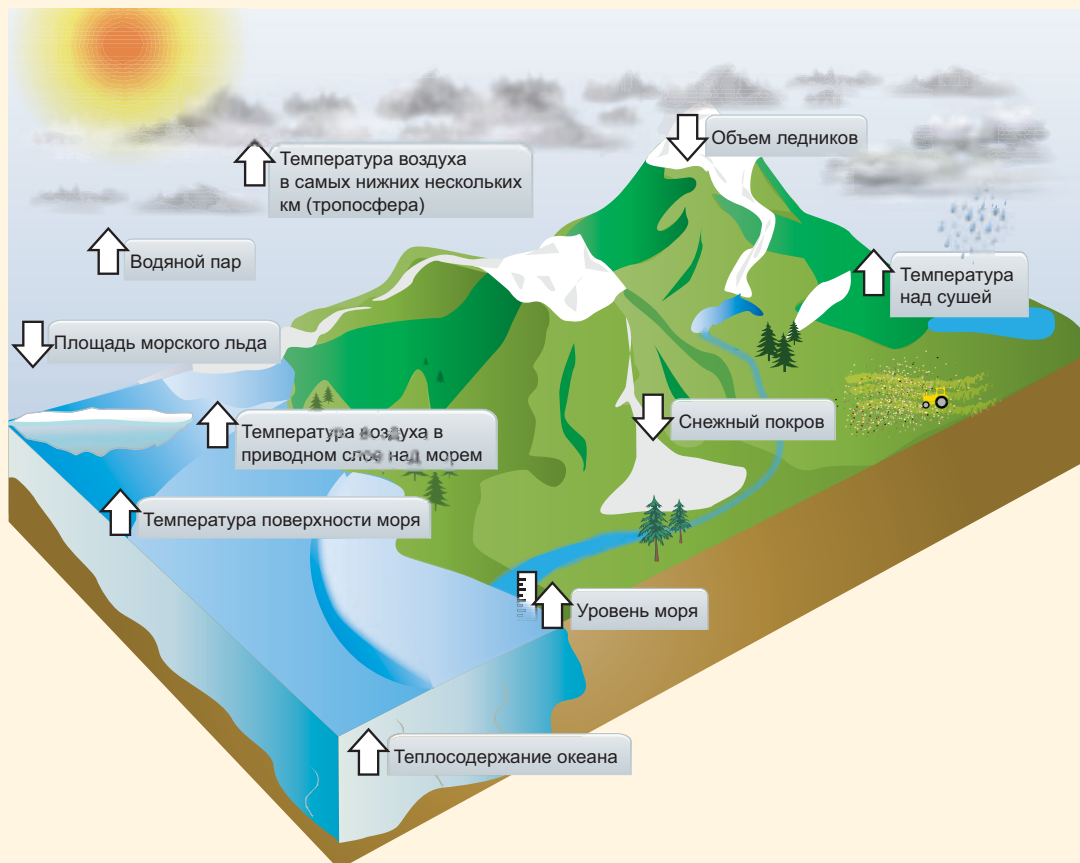
Доказательства потепления климата Земли следуют из нескольких независимых климатических показателей - от верхней атмосферы до глубин океанов. Они включают в себя изменения температуры поверхности, атмосферы и океана; ледников; снежного покрова, морского льда; уровня моря и водяного пара в атмосфере. Ученые со всего мира многократно провели независимые проверки этих доказательств. Нет сомнения в том, что по сравнению с XIX веком мир стал теплее.

Дискуссия о потеплении климата часто концентрируется на возможных остаточных систематических погрешностях в данных о температуре на наземных метеорологических станциях. Эти данные очень важны, но они представляют лишь один из индикаторов изменения в климатической системе. Более обширные доказательства глобального потепления следуют из широкого спектра независимых физически последовательных измерений многих других, в большой мере связанных между собой элементов климатической системы (ЧЗВ 2.1, рисунок 1).

Рост средней глобальной приземной температуры является наиболее хорошо известным индикатором изменения климата. Хотя каждый год и даже десятилетие не всегда бывают теплее предыдущего, глобальная приземная температура существенно повысилась с 1900 г.

Росту температуры над сушей хорошо соответствуют положительный тренд температуры над океанами. Повышение температуры воздуха над океаном, измеренное с борта судов, и температуры самой морской поверхности также совпадают, как это следует из многих независимых анализов.

Атмосфера и океан представляют собой жидкие тела, и таким образом потепление у поверхности должно также проявляться в нижней атмосфере и в нижней части верхних слоев океана, и наблюдения подтверждают, что это действительно имеет место. Анализ измерений, сделанных метеорологическими радиозондами и спутниками, уверенно указывает на потепление тропосферы - активного слоя атмосферы, где формируется погода. Более 90 % избыточной энергии, поглощенной климатической системой, по крайней мере, с 1970-х годов, было накоплено в океанах, как это видно из глобальных данных о теплосодержании океана, имеющихся с 1950-х годов. (продолжение на следующей странице)



ЧЗВ 2.1, рисунок 1 | Независимые анализы многих компонент климатической системы, которые, как ожидается, изменятся при мировом потеплении, указывают на тренды, совместимые с потеплением (направление стрелок показывает знак изменения), как это показано на рисунке 2, ЧЗВ 2.1

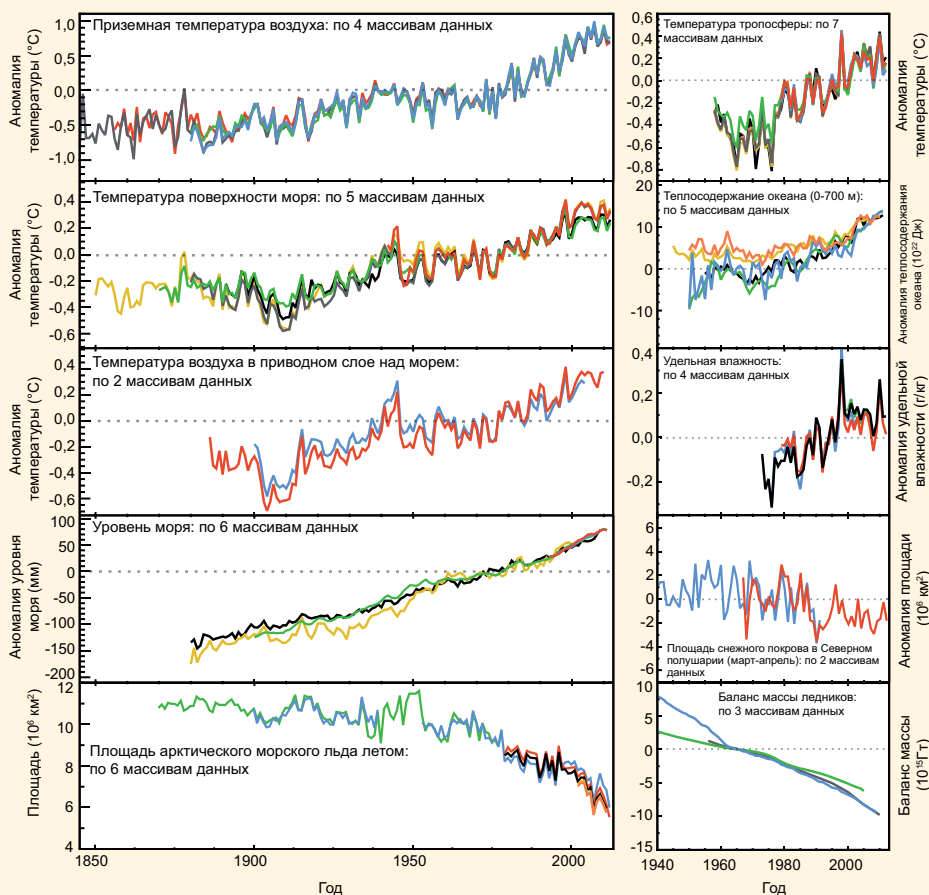
ЧЗВ 2.1 (продолжение)

По мере потепления океанов, расширяется и сама вода. Это расширение - одна из главных причин независимо наблюдаемого повышения уровня моря за прошлое столетие. Таяние ледников и ледовых щитов, как и изменения в накоплении и использовании воды на суше, также способствуют этому.

Более теплый мир – это также и более влажный мир, потому что более теплый воздух способен содержать больше водяного пара. Глобальные исследования показывают, что удельная влажность, которая характеризует количество водяного пара в атмосфере, увеличилась как над сушей, так и над океанами.

Замерзшие фрагменты планеты, совокупно именуемые криосферой, воздействуют на локальные изменения температуры и находятся под их воздействием. Количество льда, содержащегося в ледниках в глобальном масштабе, ежегодно уменьшалось в течение более чем 20 лет, и потерянная масса частично способствовала наблюдаемому повышению уровня моря. Снежный покров чувствителен к изменениям в температуре, особенно весной, когда снег начинает таять. Площадь снежного покрова в весенний период уменьшилась во всем СП после 1950-х годов. С тех пор, как появились спутниковые данные, наблюдалось существенное сокращение арктического морского льда, особенно в период его минимальной протяженности, который наступает в сентябре, в конце ежегодного сезона таяния. В отличие от этого, увеличение площади морского льда в Антарктике было менее значительным.

Сам по себе любой индивидуальный анализ мог бы быть неубедительным, но анализ этих различных показателей и независимых массивов данных привел все многочисленные независимые исследовательские группы к одинаковому выводу. На всем протяжении от глубоких слоев океанов до верхней границы тропосферы данные о потеплении воздуха и океанов, таянии льда и подъеме уровня морей однозначно указывают на одно и то же: мир потеплел с конца XIX столетия (ЧЗВ 2.1, рисунок 2).



ЧЗВ 2.1, рисунок 2 | Многочисленные независимые показатели изменения глобального климата. Каждая линия представляет независимо определенную оценку изменения элемента климата. В каждом четырехугольнике все массивы данных нормализованы на общий период времени. Подробное описание того, данные из каких источников приведены в каждом четырехугольнике, представлены в Дополнительном материале 2.5M.5.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 2.2 | Произошли ли какие-либо изменения климатических экстремумов?

Есть убедительные доказательства того, что потепление привело к изменениям в температурных экстремумах, включая волны тепла, с середины XX века. По-видимому, за это время также произошло увеличение сильных осадков, но оно изменяется от региона к региону. Однако в случае других экстремумов, таких как повторяемость тропических циклонов, имеется меньше уверенности в наличии ощутимых изменений в течение периода наблюдений, кроме некоторых ограниченных областей.

Регистрация и анализ климатических экстремумов (от волн тепла до внезапных похолоданий или от засух до дождей, формирующих паводки) создают уникальные проблемы, не только потому что эти события редки, но также и потому, что они неизбежно сопровождаются катастрофическими ситуациями. Кроме того, в научной литературе нет никакого согласованного определения того, что представляет собой экстремальное климатическое явление, и это усложняет сравнительные глобальные оценки.

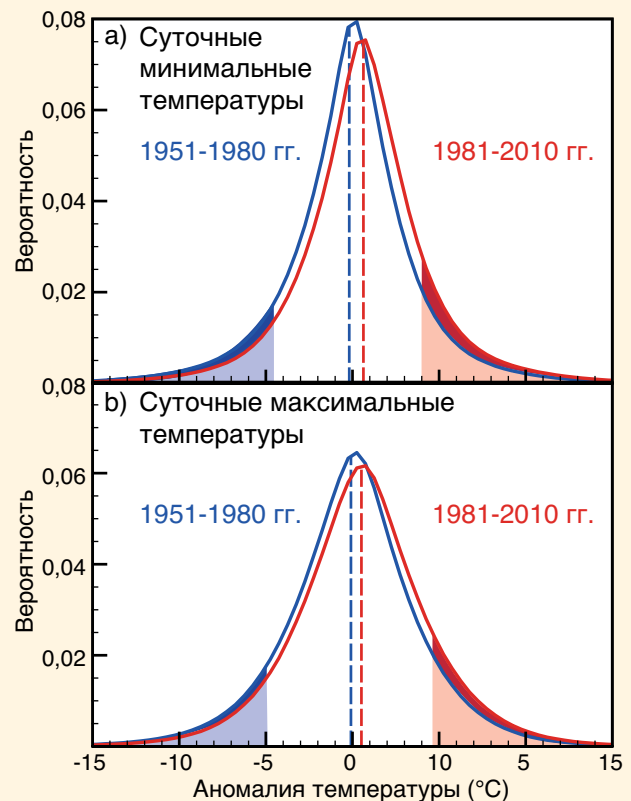
Хотя в абсолютном смысле характеристики экстремального климатического явления изменяются от места к месту (например, температура в жаркий день в тропиках может отличаться от температуры в жаркий день в средних широтах), международные усилия по мониторингу экстремальных явлений выявили некоторые существенные глобальные изменения.

Например, используя согласованные определения холодных (температура ниже 10-го перцентиля) и теплых (температура выше 90-го перцентиля) дней и ночей, установлено, что число теплых дней и ночей увеличилось, а число холодных дней и ночей уменьшилось в большинстве регионов земного шара; несколько исключений относятся к центральной и восточной частям Северной Америки и южной части Южной Америки, но они, главным образом, относятся только к дневным температурам. Такие изменения обычно наиболее очевидны для минимальных температур, например, теплых ночей. Ограничения в данных мешают установлению причинной связи с ростом средних суточных температур, но рисунок 1, ЧЗВ 2.2, показывает, что глобальные суточные экстремумы температуры действительно изменились. Связаны ли эти изменения просто с увеличением средней суточной температуры (пунктирные линии на рисунке 1, ЧЗВ 2.2) или произошли другие изменения в распределении дневных и ночных температур, все еще является предметом дебатов.

Также получены оценки теплых периодов или волн тепла, то есть периодов, в которые друг за другом следуют экстремально жаркие дни или ночи, однако имеется меньшее количество исследований характеристик волн тепла, чем тех, в которых просто сравниваются изменения в числе теплых дней или ночей. На большей части суши, для которой имеются данные, число волн тепла увеличилось с середины XX столетия. Единственное исключение – это юго-восточные районы США, где количественные значения частоты и продолжительности волн тепла, в целом, демонстрируют уменьшение. Это связано с так называемой «дырой потепления» в этом регионе, где количество осадков также увеличилось и может быть связано с взаимодействием суши и атмосферы и долговременными изменениями в Атлантическом и Тихом океанах. Однако для больших регионов, особенно в Африке и Южной Америке, информация об изменениях характеристик волн тепла ограничена.

Для таких регионов, как Европа, где имеются исторические реконструкции температуры за прошлые несколько сотен лет, обнаруживаются признаки того, что за последние десятилетия в некоторых регионах наблюдалось непропорциональное число экстремальных волн тепла.

(продолжение на следующей странице)



ЧЗВ 2.2, рисунок 1 | Распределение аномалий а) суточных минимальных и б) суточных максимальных температур, по отношению к климатическим данным за 1961-1990 г.г., за два периода: 1951-1980 г.г. (голубые линии) и 1981-2010 г.г. (красные линии) с использованием массива данных HadGHCND. Затененные синие и красные области характеризуют 10 % самых холодных и 10 % самых теплых, соответственно, а) ночей и б) дней в период 1951-1980 г.г. Более темное затенение указывает на то, насколько уменьшилось число самых холодных дней и ночей (темно-синий цвет) и насколько увеличилось число самых теплых дней и ночей (темно-красный цвет) в период 1981-2010 г.г. по сравнению с периодом 1951-1980 г.г.

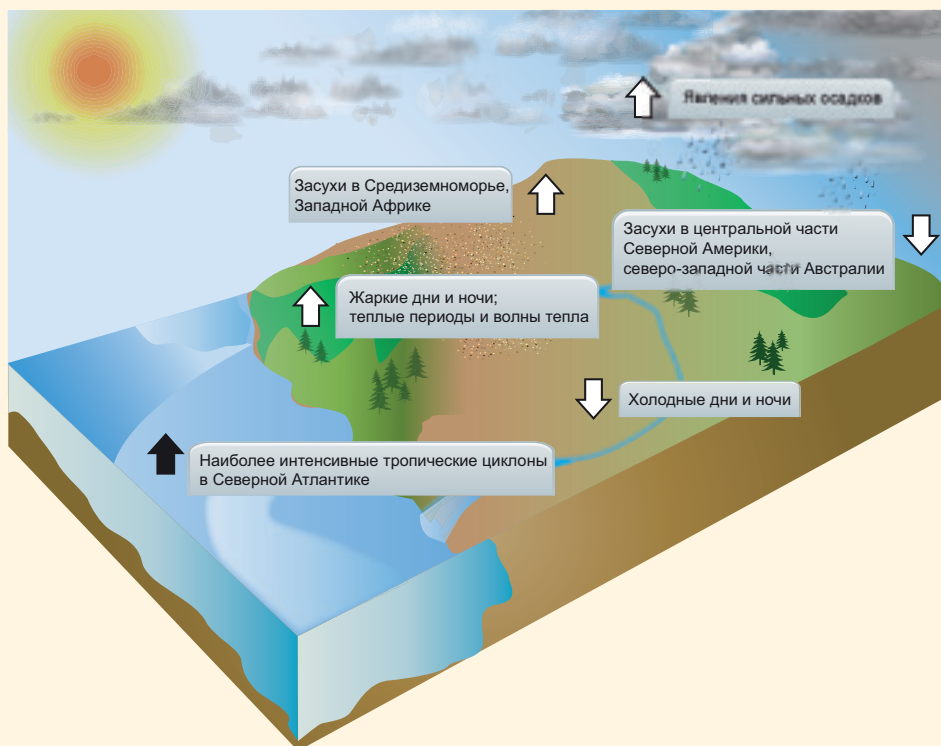
ЧЗВ 2.2 (продолжение)

Изменения в экстремальных значениях других климатических переменных, как правило, хуже согласуются, чем наблюдаемые изменения температуры, вследствие ограниченного количества данных и несогласованности между исследованиями, регионами и/или сезонами. Однако увеличения экстремального количества осадков, например, совместимы с потеплением климата. Анализы участков суши с достаточным объемом данных указывают на увеличения в последние десятилетия повторяемости и интенсивности экстремальных осадков, но результаты сильно варьируют от региона к региону и от сезона к сезону. Например, наиболее убедительны данные об увеличении сильных осадков в Северной Америке, Центральной Америке и Европе, но в некоторых других регионах, таких как южная часть Австралии и западная часть Азии, есть доказательства их уменьшения. Аналогично, результаты исследований засухи не согласуются в знаке глобального тренда, причем региональные несогласованности в трендах также зависят от определения засухи. Однако существуют признаки того, что с середины XX века засухи усилились в некоторых регионах (например, в Средиземноморье) и ослабели в других (например, в центральной части Северной Америки).

При рассмотрении других экстремальных явлений, таких как тропические циклоны, последние оценки показывают, что из-за проблем с возможностями проведения наблюдений в прошлом трудно сделать окончательные заключения о долговременных трендах. Однако есть очень убедительные доказательства того, что с 1970-х годов циклоническая деятельность в Северной Атлантике усилилась.

Для периодов в столетие или более, если учитываются неопределенности в методах наблюдений, данные свидетельствуют о небольших уменьшениях в повторяемости тропических циклонов, выходящих на побережье в Северной Атлантике и в южной части Тихого океана. В других океанских бассейнах имеется мало свидетельств какой-либо долговременной тенденции. Для внетропических циклонов очевиден сдвиг по направлению к полюсу в обоих полушариях за прошедшие 50 лет, при этом имеются дополнительные, хотя и ограниченные, данные об уменьшении повторяемости штормового ветра в средних широтах. Несколько исследований свидетельствуют об увеличении интенсивности, но проблемы с выборкой данных затрудняют эти оценки.

На рисунке 2, ЧЗВ 2.2, обобщаются некоторые наблюдаемые изменения климатических экстремумов. В целом, самые устойчивые глобальные изменения климатических экстремумов обнаруживаются в средней температуре, включая, до некоторой степени, волны тепла. Экстремумы осадков, по-видимому, также увеличиваются, но есть большая пространственная изменчивость, а наблюдаемые тенденции в засухах все еще неопределенные, кроме нескольких регионов. Хотя начиная с 1970-х годов в повторяемости и активности тропических циклонов в Северной Атлантике наблюдалось устойчивое усиление, причины этого явления все еще обсуждаются. Есть ограниченные свидетельства изменений в экстремальных значениях других климатических переменных с середины XX века.



ЧЗВ 2.2, рисунок 2 | Тренды повторяемости (или интенсивности) различных климатических экстремумов (направление стрелок указывает знак изменения) с середины XX столетия (за исключением циклонов в Северной Атлантике, где рассмотренный период охватывает с 1970-х годов).

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 3.1 | Происходит ли потепление океана?

Да, потепление океана происходит во многих регионах, диапазонах глубин и во многих периодах времени, хотя и не повсюду, и не постоянно. Потепление наиболее ясно проявляется при осреднении в глобальном масштабе или даже в масштабе океанского бассейна в течение промежутков времени в десятилетие или более того.

Температура океана в любом данном месте может значительно изменяться от сезона к сезону. Она может также существенно колебаться от года к году (или даже от десятилетия к десятилетию) из-за изменений океанских течений и теплообмена между океаном и атмосферой.

Температура океана регистрировалась в течение многих столетий, но только около 1971 г. измерения стали достаточно полными для того, чтобы надежно оценить среднюю глобальную температуру верхних нескольких сотен метров океана для любого данного года. Фактически, до того, как международная сеть ныряющих буев Арго для измерения температуры/солености впервые стала обеспечивать всемирный охват данными наблюдений в 2005 г., средняя глобальная температура верхнего слоя океана за любой данный год чувствительно реагировала на методологию, используемую для ее оценки.

С 1971 г. по 2010 г. средние глобальные температуры верхнего слоя океана увеличивались от десятилетия к десятилетию. Несмотря на большую неопределенность в большинстве средних значений, это потепление является устойчивым результатом. В верхних 75 м океана глобальный средний тренд потепления в этот период составлял $0,11 [0,09 - 0,13] \text{ }^\circ\text{C}$ за десятилетие. Этот тренд в целом ослабевает от поверхности к средним глубинам приблизительно на $0,04 \text{ }^\circ\text{C}$ за десятилетие на каждые 200 м и менее чем на $0,02 \text{ }^\circ\text{C}$ за десятилетие на каждые 500 м.

Температурные аномалии возникают в подповерхностных слоях океана не только в результате перемешивания с вышележащими слоями (ЧЗВ.1, рисунок 1). Более холодные и, следовательно, более плотные воды из высоких широт могут опускаться с поверхности, затем распространяться к экватору под более теплыми, легкими, водами, находящимися в более низких широтах. В нескольких районах (в северной части Северного Атлантического океана и Южном океане вокруг Антарктики) океанская вода охлаждается до такой степени, что опускается до больших глубин, даже до морского дна. Затем эта вода распространяется и заполняет остальную часть глубинных слоев океана. По мере потепления поверхностных вод океана эти опускающиеся воды со временем также становятся более теплыми, повышая температуры в глубинах океана намного быстрее, чем это могло бы произойти исключительно за счет нагревания под влиянием вертикального перемешивания с поверхностными слоями.

В Северной Атлантике температура этих глубинных вод изменяется от десятилетия к десятилетию, становясь то более теплой, то более холодной, в зависимости от преобладающих атмосферных структур. Вокруг Антарктики придонные воды заметно потеплели приблизительно с 1992-2005 гг., возможно из-за усиления и смещения на юг пояса западных ветров вокруг Южного океана, произошедших за последние несколько десятилетий. Этот сигнал потепления обнаруживается в самых глубинных и холодных придонных водах мирового океана, хотя он ослабевает по направлению к северу в Индийском, Атлантическом и Тихом океанах. Темпы потепления в глубинных слоях в целом менее выражены, чем на поверхности океана (около $0,03 \text{ }^\circ\text{C}$ за десятилетие с 1990-х годов в глубинных и придонных водах вокруг Антарктики и несколько меньше во многих других районах). Однако они затрагивают большой объем воды, так что потепление глубинных океанских вод вносит значительный вклад в общее увеличение теплосодержания океана.

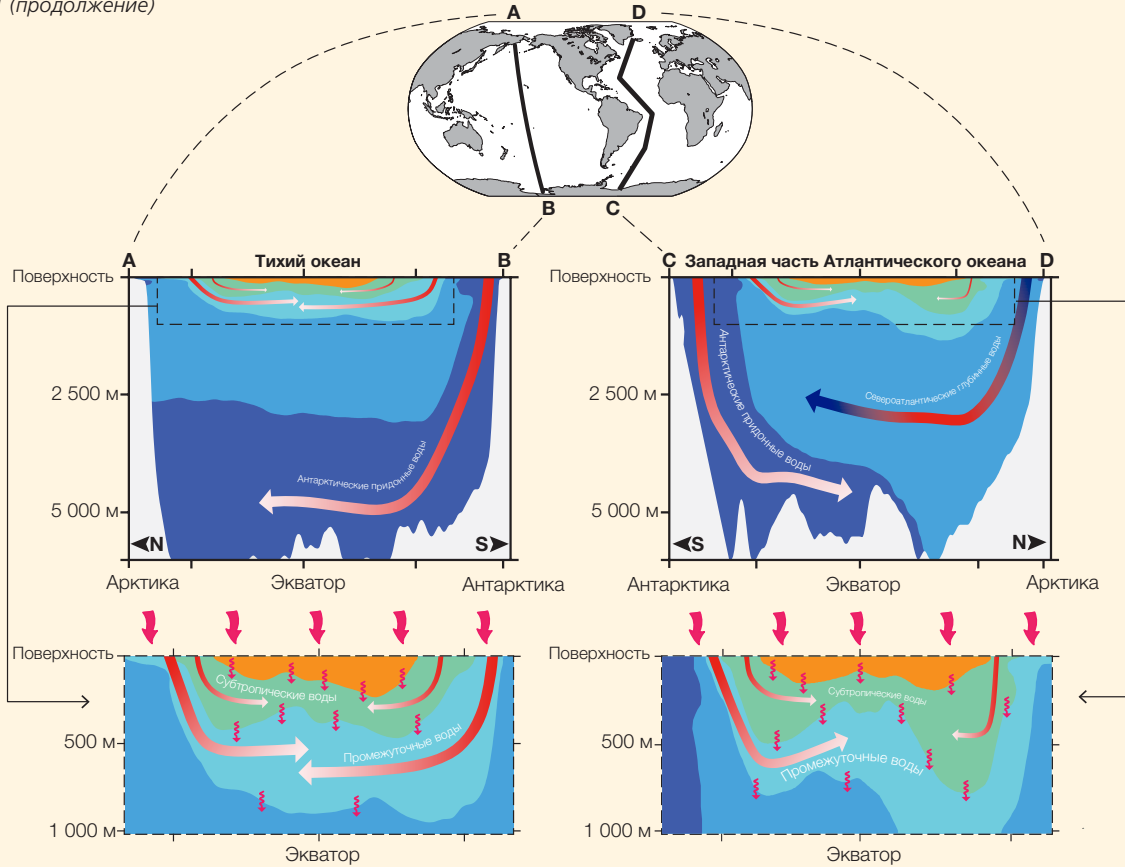
В последние несколько лет оценки исторических изменений средней глобальной температуры океана стали более точными, в основном благодаря выявлению и сокращению систематических ошибок измерения. Тщательно сравнивая менее точные измерения с более редкими, но более точными измерениями в смежных районах и в те же моменты времени, ученые уменьшили некоторые сомнительные инструментальные систематические ошибки в исторических данных. Эти усовершенствования показали, что глобальная средняя температура океана повышалась из года в год намного более устойчиво, чем об этом сообщалось до 2008 г. Тем не менее, глобальные средние темпы потепления могут не быть постоянными во времени. Представляется, что в некоторые годы потепление океана происходит быстрее, чем в среднем, а в другие годы темпы потепления, по-видимому, замедляются.

Большая масса и высокая теплоемкость океана позволяют ему накапливать огромное количество энергии - более чем в 1 000 раз большее, чем в атмосфере, для эквивалентного увеличения температуры. Земля поглощает больше тепла, чем излучает обратно в космос, и почти все это лишнее тепло попадает в океаны и аккумулируется там. Океан поглотил приблизительно 93 % суммарного тепла, накопленного при нагревании воздуха, моря и суши, а также при таянии льда в период между 1971 г. и 2010 г.

Огромная теплоемкость и медленная циркуляция океана придают ему значительную тепловую инерцию. Требуется приблизительно десятилетие для подстройки температуры приповерхностных слоев океана как реакции на воздействие климата (раздел 12.5), такого как изменения концентраций парниковых газов. Таким образом, если бы концентрации парникового газа могли быть сохранены в будущем на современных уровнях, то увеличения температуры у поверхности Земли начали бы замедляться в течение приблизительно десятилетия. Однако температура глубинных вод океана будет продолжать повышаться в течение периода от столетий до тысячелетий (раздел 12.5), и таким образом, уровни морей также продолжат повышаться в течение срока от столетий до тысячелетий (раздел 13.5).

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 3.1 (продолжение)



ЧЗВ 3.1, рисунок 1 | Направления поглощения тепла океаном. Океан стратифицирован, причем самая холодная и плотная вода залегают в глубинных слоях океана (верхние разрезы: используйте карту для ориентации). Холодные антарктические придонные воды (темно-синий цвет) опускаются вокруг Антарктики, затем распространяются к северу по дну океана в центральную часть Тихого океана (вверху слева: красные стрелки, превращающиеся в белые, указывают на более сильное потепление придонных вод, недавно находившихся в контакте с поверхностью океана) и в западную часть Атлантического океана (вверху справа), а также в Индийский океан (не показано). Менее холодные и, следовательно, более легкие североатлантические глубинные воды (светло-синий цвет) опускаются в северной части Северной Атлантики (вверху справа: красная и синяя стрелка в глубинной воде указывает на потепление и похолодание в масштабах десятилетий), затем распространяется на юг поверх антарктических придонных вод. Точно также в верхнем слое океана (в нижнем левом четырехугольнике более детально показан Тихий океан, а в нижнем правом - Атлантика) холодные промежуточные воды (голубой цвет) опускаются в субполярных регионах (красные стрелки, превращающиеся в белые, указывают на потепление со временем), прежде чем распространиться к экватору под более теплыми субтропическими водами (зеленый цвет), которые в свою очередь опускаются (красные стрелки, превращающиеся в белые, указывают на более интенсивное потепление промежуточных и субтропических вод, недавно находившихся в контакте с поверхностью) и распространяются к экватору под тропическими водами - наиболее теплыми и легкими (оранжевый цвет) во всех трех океанах. Излишнее тепло или холод, поступающие на поверхность океана (извилистые красные стрелки наверху), также медленно переносятся вниз в результате перемешивания (волнистые красные стрелки под поверхностью).

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 3.2 | Есть ли свидетельство изменений водного цикла Земли?

Водный цикл Земли включает испарение и осаджение влаги на поверхности Земли. Изменения в содержании водяного пара в атмосфере предоставляют убедительные доказательства того, что водный цикл уже реагирует на потепление климата. Дополнительное доказательство следует из изменений в распределении солёности в океане, которая из-за нехватки долговременных наблюдений за дождем и испарением над мировым океаном, стала важной заменой осадкомера.

Как ожидается, в условиях более теплого климата гидрологический цикл будет интенсифицироваться, потому что более теплый воздух может быть более влажным: при потеплении на один градус Цельсия атмосфера может содержать приблизительно на 7 % больше водяного пара. Наблюдения показывают увеличение водяного пара в приземных слоях и нижней атмосфере с 1970-х годов (ЧЗВ 3.2, рисунок 1а), при этом тренд соответствует наблюдаемому потеплению. Более того, в более теплом климате, согласно климатическим проекциям, испарение и выпадение осадков усиливаются.

Зарегистрированные изменения в солёности океана за последние 50 лет поддерживают такую проекцию. Морская вода содержит как соль, так и пресную воду, а ее солёность – это функция веса растворённых солей, которые она содержит. Поскольку общее количество соли (которая поступает при выветривании горных пород) не изменяется во временных рамках жизни человека, солёность морской воды может изменяться (в течение дней или столетий) путем добавления или удаления пресной воды.

Атмосфера объединяет области океана, теряющие и получающие пресную воду, путем переноса испарившегося водяного пара из одного места в другое. Распределение солёности на поверхности океана в значительной степени отражает пространственную структуру испарения за минусом осадков, материкового стока и воды, участвующей в процессах образования морского льда. Имеются некоторые сдвиги элементов структур друг относительно друга, вызванные океанскими течениями.

Субтропические воды чрезвычайно солёные, поскольку испарение превышает количество осадков, тогда как морская вода в высоких широтах и в тропиках, где влаги выпадает больше, чем испаряется, является менее солёной (ЧЗВ 3.2, рисунок 1b, d). Атлантика – самый солёный океанский бассейн, теряет больше пресной воды вследствие испарения, чем получает ее в виде осадков, в то время как Тихий океан почти нейтрален (то есть, приход влаги за счет осадков почти уравнивает ее потерю за счет испарения), а в Южном океане (область вокруг Антарктики) преобладают осадки.

Изменения солёности на поверхности и в верхнем слое океана сделали поле средней солёности более ярко выраженным. Субтропические области, где преобладает испарение, стали более солёными, в то время как субполярные и тропические области, где преобладают осадки, стали более пресными. С учетом изменений в верхнем слое толщиной 500 м Атлантика, где преобладает испарение, стала более солёной, в то время как почти нейтральный Тихий океан и Южный океан, где преобладают осадки, стали более пресными (ЧЗВ 3.2, рисунок 1с).

Наблюдение изменений осадков и испарения непосредственно и в глобальном масштабе затруднено, потому что большая часть обмена пресной водой между атмосферой и поверхностью происходит на 70 % поверхности Земли, покрытой океаном. Долговременные ряды данных об осадках имеются только для суши и не существует долговременных измерений испарения.

Наземные наблюдения показывают увеличение осадков в одних регионах и уменьшение в других, затрудняя создание глобально интегрированной картины. Наземные наблюдения показали рост повторяемости случаев экстремальных осадков и наводнений, вызванных более ранним таянием снега в высоких северных широтах, но в трендах проявляется резко выраженная региональность. Наземных наблюдений до сих пор недостаточно, чтобы предоставить свидетельства изменений повторяемости засухи.

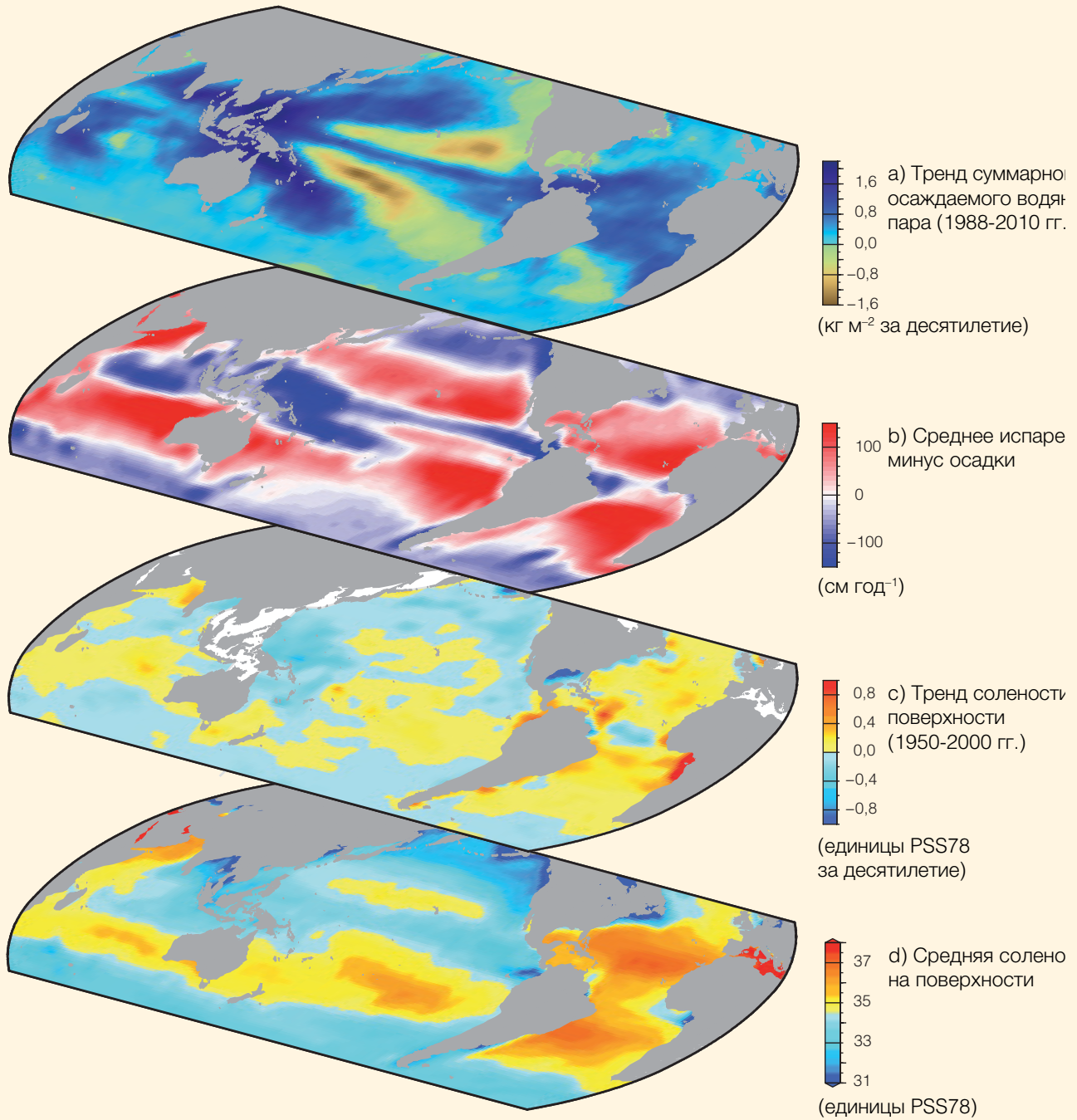
Солёность океана, с другой стороны, действует как чувствительный и эффективный осадкомер для всего океана. Она естественным образом отражает и сглаживает различие между количеством воды, полученной океаном с осадками, и водой, потерянной океаном в результате испарения, причем оба этих процесса очень неоднородны и не постоянны во времени. Солёность океана также находится под воздействием стока с континентов и таяния и образования морского льда или плавающего ледникового льда. Пресная вода, добавленная за счет таяния льда на суше, изменит глобально усреднённую солёность, но эти изменения до настоящего времени слишком малы, чтобы можно было их наблюдать.

Данные за прошедшие 50 лет указывают на широко распространённые изменения солёности в верхнем слое океана, которые служат показателем систематических изменений осадков и стока минус испарение, иллюстрация чего представлена на рисунке 1, ЧЗВ 3.2.

ЧЗВ 3.2 основан на наблюдениях, приведенных в главах 2 и 3, и анализе результатов моделирования, изложенных в главах 9 и 12.

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 3.2 (продолжение)



ЧЗВ 3.2, рисунок 1 | Изменения в солёности на поверхности моря связаны со структурой поля испарения минус осадки (Е - Р) и трендами суммарной осаждаемой воды: а) Линейный тренд (1988-2010 гг.) суммарной осаждаемой воды (суммарное содержание водного пара от поверхности Земли до верхней границы атмосферы) (кг м⁻² за десятилетие) по данным спутниковых наблюдений (Special Sensor Microwave Imager) (Wentz et al., 2007) (голубые тона: более влажно; желтые тона: более сухо). б) среднее климатическое значение Е - Р за 1979-2005 гг. (см год⁻¹ за десятилетие) по данным метеорологического реанализа (национальные центры экологических прогнозов/Национальный центр атмосферных исследований; Kalnay et al., 1996) (красные тона: преобладание испарения; синие тона: преобладание осадков). в) Тренд (1950-2000 гг.) солёности на поверхности (PSS78 за 50 лет) (Durack and Wijffels, 2010.) (голубые тона: распреснение; желто-красные тона: осолонение). г) средняя климатическая солёность на поверхности (PSS78) (голубые тона: <35; желто-красные тона: >35).

Часто задаваемые вопросы

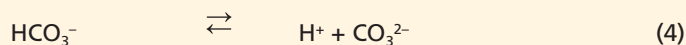
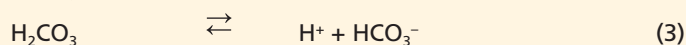
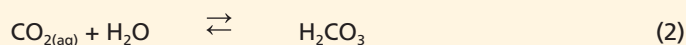
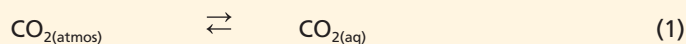
ЧЗВ 3.3 | Как антропогенное закисление океана связано с изменением климата?

Как антропогенное изменение климата, так и антропогенное закисление океана вызваны увеличением концентраций диоксида углерода в атмосфере. Возрастающие уровни диоксида углерода (CO_2), наряду с другими парниковыми газами, косвенно изменяют климатическую систему, задерживая тепло при его отражении от поверхности Земли. Антропогенное закисление океана – это прямое следствие повышения концентраций CO_2 , поскольку морская вода в настоящее время поглощает приблизительно 30 % антропогенного CO_2 из атмосферы.

Закисление океана означает уменьшение pH за длительный период, как правило десятилетия или более того, вызванное прежде всего поглощением CO_2 из атмосферы. pH – это безразмерный показатель кислотности. Закисление океана описывает скорее направление изменения pH, чем его результат; то есть, pH океана уменьшается, но, как ожидают, не станет закисленным (pH < 7). Закисление океана может также быть вызвано добавлением или удалением из океана других химических веществ, которые являются результатом естественных процессов (например, усиление вулканической активности, выбросы гидрата метана, долговременные изменения в результирующем дыхании), или вызвано деятельностью человека (например, выброс азота и соединений серы в атмосферу). Антропогенное закисление океана означает компонент уменьшения pH, вызванный деятельностью человека.

Начиная приблизительно с 1750 г. выброс CO_2 в результате промышленной и сельскохозяйственной деятельности привел к увеличению средних глобальных концентраций CO_2 в атмосфере с 278 до 390,5 ppm в 2011 г. Концентрация CO_2 в атмосфере сейчас выше, чем та, которая наблюдалась на Земле в течение, по крайней мере, последних 800 000 лет, и которая, как ожидают, продолжит повышаться из-за нашей зависимости от ископаемого топлива для производства энергии. До настоящего времени океаны поглотили из атмосферы приблизительно 155 ± 30 ПгС, что соответствует примерно одной четверти общего количества CO_2 (555 ± 85 ПгС), выброшенного в атмосферу в результате деятельности человека с доиндустриальных времен. Этот естественный процесс поглощения значительно уменьшил уровни парниковых газов в атмосфере и минимизировал некоторые воздействия глобального потепления. Однако поглощение CO_2 океаном оказывает значительное влияние на химию морской воды. Средний pH поверхностных вод океана уже упал приблизительно на 0,1 единицы, а именно с порядка 8,2 до 8,1 с начала промышленной революции. Оценки проекций будущих концентраций CO_2 в атмосфере и океане показывают, что к концу этого столетия средний pH на поверхности океана может оказаться на 0,2 - 0,4 ниже, чем сегодня. Шкала pH является логарифмической и, таким образом, его изменение на одну единицу соответствует 10-кратному изменению концентрации иона водорода.

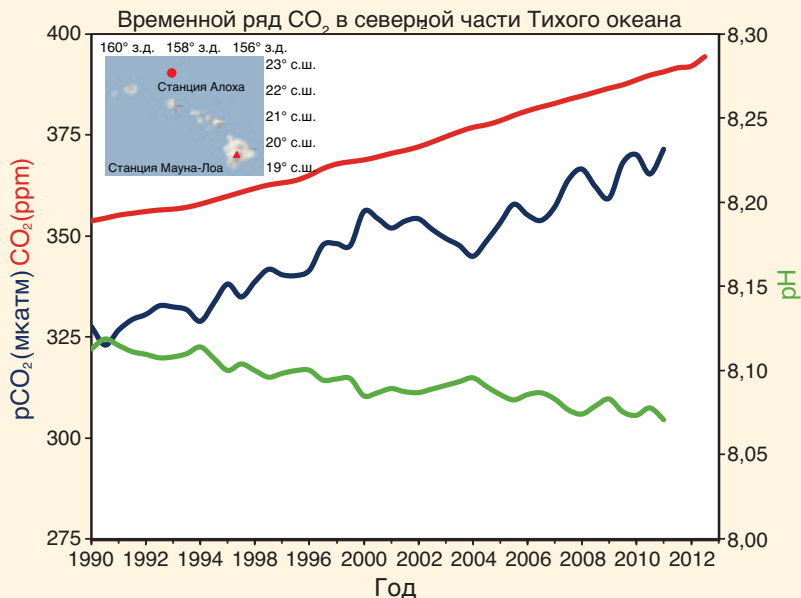
В процессе обменов атмосферного CO_2 , вызванных взаимодействием между воздухом и морем, он реагирует с морской водой посредством серии из четырех химических реакций, которые увеличивают концентрации соединений углерода: растворенного диоксида углерода ($\text{CO}_{2(\text{aq})}$), угольной кислоты (H_2CO_3) и бикарбоната (HCO_3^-):



В ходе этих реакций образуются ионы водорода (H^+). Это увеличение концентрации иона водорода в океане соответствует уменьшению pH или увеличению кислотности. При нормальном состоянии морской воды более чем 99,99 % образовавшихся ионов водорода объединяются с ионом карбоната (CO_3^{2-}) и образуют дополнительные HCO_3^- . Таким образом, добавление антропогенного CO_2 в океаны понижает pH и связывает ион карбоната. Эти реакции полностью обратимы, важнейшие аспекты термодинамики этих реакций в морской воде хорошо известны, так что при значении pH около 8,1 приблизительно 90 % углерода находится в виде иона бикарбоната, 9 % в виде иона карбоната, и только приблизительно 1 % углерода находится в виде растворенного CO_2 . Результаты лабораторных, полевых и модельных исследований, а также геологические данные ясно указывают, что морские экосистемы очень восприимчивы к увеличению CO_2 в океане и соответствующему уменьшению pH и концентрации иона карбоната.

Изменение климата и антропогенное закисление океана не действуют независимо. Хотя поглощенный океаном CO_2 не вносит вклад в нагревание за счет парникового эффекта, потепление океана уменьшает растворимость углекислого газа в морской воде и, таким образом, уменьшает количество CO_2 , которое океаны могут поглотить из атмосферы. Например, при удвоении доиндустриальных концентраций CO_2 и увеличении температуры на 2 °C морская вода поглощает приблизительно на 10 % меньше CO_2 (на 10 % меньше суммарного углерода, C_T), чем это было бы без увеличения температуры (сравните колонки 4 и 6 в таблице 1), но pH остается почти неизменным. Таким образом, у более теплого океана есть меньше возможности удалить CO_2 из атмосферы, но при этом закисление океана продолжается. Причина этого состоит в том, что в более теплом океане бикарбонат преобразуется в карбонат, высвобождая ион водорода и, таким образом, стабилизируя pH. *(продолжение на следующей странице)*

ЧЗВ 3.3 (продолжение)



ЧЗВ 3.3, рисунок 1 | Сглаженный временной ряд мольной доли CO₂ (в ppm) в атмосфере по данным атмосферной Обсерватории Мауна-Лоа (верхняя красная линия), парциальное давление CO₂ на поверхности океана (pCO₂; средняя синяя линия) и pH на поверхности (нижняя зеленая линия) на станции АЛОХА в субтропической зоне северного части Тихого океана к северу от Гавайских островов для периода с 1990-2011 гг. (Doney et al., 2009; данные из Dore et al., 2009). Результаты указывают, что тренд pCO₂ на поверхности океана, в целом, соответствует увеличению CO₂ в атмосфере, но более изменчив из-за крупномасштабной межгодовой изменчивости процессов в океане.

ЧЗВ 3.3, таблица 1 | Изменения pH и параметров карбонатной системы в поверхностной воде при удвоении CO₂ по сравнению с его концентрацией в доиндустриальной атмосфере без и при наличии потепления на 2 °C.^a

Параметр	Доиндустриальный период (280 ppmv) 20 °C	2 x доиндустриальный период (560 ppmv) 20 °C	(% изменения по сравнению с доиндустриальным периодом)	2 x доиндустриальный период (560 ppmv) 22 °C	(% изменения по сравнению с доиндустриальным периодом)
pH	8,1714	7,9202	-	7,9207	-
H ⁺ (моль кг ⁻¹)	6,739e ⁻⁹	1,202e ⁻⁸	(78,4)	1,200e ⁻⁸	(78,1)
CO _{2(aq)} (мкмоль кг ⁻¹)	9,10	18,10	(98,9)	17,2	(89,0)
HCO ₃ ⁻ (мкмоль кг ⁻¹)	1 723,4	1 932,8	(12,15)	1910,4	(10,9)
CO ₃ ²⁻ (мкмоль кг ⁻¹)	228,3	143,6	(-37,1)	152,9	(-33,0)
C _T (мкмоль кг ⁻¹)	1960,8	2094,5	(6,82)	2 080,5	(6,10)

Примечания:

^a CO_{2(aq)} = растворенный CO₂, H₂CO₃ = угольная кислота, HCO₃⁻ = бикарбонаты, CO₃²⁻ = карбонаты, C_T = общий углерод = CO_{2(aq)} + HCO₃⁻ + CO₃²⁻.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 4.1 | Как изменяется морской лед в Арктике и Антарктике?

Морские льды в Северном Ледовитом океане и в Южном океане вокруг Антарктики имеют довольно разные характеристики и демонстрируют различный характер изменения со временем. За прошедшие 34 года (1979-2012 гг.) наблюдалась тенденция к понижению среднегодовой площади морского льда в Арктике на 3,8 % за десятилетие. Между 1978 г. и 2008 г. средняя толщина морского льда в Северном Ледовитом океане зимой сократилась приблизительно на 1,8 м, а общий объем (масса) арктического морского льда уменьшался во все сезоны года. Более быстрое сокращение площади морского льда в период летнего минимума – это следствие этих тенденций. Напротив, за тот же самый 34-летний период общая площадь антарктических морских льдов демонстрирует небольшое увеличение на 1,5 % за десятилетие, но имеются большие региональные различия в изменениях вокруг Антарктики. Измерения толщины антарктического морского льда слишком немногочисленны, чтобы можно было судить о том, уменьшается ли, остается ли постоянным или же увеличивается его общий объем (масса).

Большая часть суммарного морского ледяного покрова в Арктике находится выше 60° с.ш. (ЧЗВ 4.1, рисунок 1) и окружена с юга сушей с проходами в Канадский арктический архипелаг, Берингово, Баренцево и Гренландское моря. Часть льда в пределах арктического бассейна сохраняется в течение нескольких сезонов, увеличиваясь в толщине при замерзании морской воды в его основании и деформации (торошении и наплавствовании). Сезонный морской лед растет в толщину только до ~2 м, но морской лед, которому больше одного года (постоянный лед), может быть на несколько метров толще. Арктические морские льды дрейфуют в пределах бассейна под влиянием ветра и океанских течений: средние траектории дрейфа обусловлены циркуляцией по часовой стрелке в западной части Арктики и трансполярным дрейфовым течением, которое переносит сибирский морской лед через Арктику и выносит его за пределы бассейна через пролив Фрама.

Спутники, способные различать лед и открытую воду, дали изображение изменений площади покрытия морским льдом. С 1979 г. среднегодовая площадь льда в Арктике уменьшалась на 3,8 % за десятилетие. Уменьшение площади в конце лета (в конце сентября) было еще большим и составляло 11 % за десятилетие, достигнув рекордного минимума в 2012 г. Средняя за десять лет минимальная площадь арктического ледяного покрова в сентябре уменьшалась с каждым десятилетием с начала спутниковых наблюдений. Подводные и спутниковые наблюдения указывают на то, что толщина арктического льда и, следовательно, его общий объем также уменьшаются. Изменения относительных объемов постоянного и сезонного льда способствуют сокращению объема льда. По данным 34-летних наблюдений приблизительно 17 % морского льда этого типа были потеряны за каждое десятилетие при таянии и выносе за пределы бассейна с 1979 г. и 40 % - с 1999 г. Хотя площадь арктического морского ледяного покрова может колебаться от года к году из-за неодинаковой скорости сезонного роста, соотношение между мощным постоянным льдом и общим объемом морского льда может восстанавливаться только медленно.

В отличие от Арктики, ледяной покров морей к северу от Антарктики ограничен широтами к северу от 78° ю.ш. из-за наличия континентального массива суши. Ледяной покров антарктических морей в основном сезонный со средней толщиной только ~1 м в период его максимальной протяженности в сентябре. Только малая часть ледяного покрова переживает летний минимум в феврале и очень небольшое количество антарктического морского льда имеет возраст более двух лет. Кромка ледяного покрова граничит с открытым океаном, а интенсивность выпадения снега на антарктический морской лед выше, чем в Арктике. Когда снеговая нагрузка от снегопада становится достаточной, чтобы продавить поверхность льда ниже уровня моря, морская вода пропитывает нижнюю часть снежного покрова и при замерзании образовавшегося ледяного сала формируется снежно-ледовая масса. Следовательно, преобразование снега в лед (так же, как намораживание снизу, как и в Арктике) способствует сезонному росту толщины и общего объема льда в Антарктике. Образование льда из снега чувствительно к изменениям в осадках и, таким образом, изменениям регионального климата. Последствие изменений количества осадков для толщины и объема антарктического морского льда остается в центре внимания исследователей.

Не будучи ограничено сухопутными границами, широтное простираение антарктического морского ледяного покрова очень переменное. Вблизи антарктического побережья преобладает дрейф морского льда с востока на запад, но далее к северу он становится западно-восточным со значительной дивергенцией. Четко выраженная циркуляция по часовой стрелке, переносящая лед к северу, может наблюдаться в морях Уэдделла и Росса, в то время как циркуляция вокруг Восточной Антарктики более изменчива. Протяженность морского ледяного покрова на север частично контролируется расходящимися дрейфовыми течениями, которые в зимние месяцы благоприятствуют образованию нового льда в устойчивых областях с открытой водой (полюньях) вдоль береговых линий. Эти зоны льдообразования приводят к формированию более соленой и, таким образом, более плотной океанской воды и становятся одним из основных источников наиболее глубоко залегающей воды в глобальных океанах.

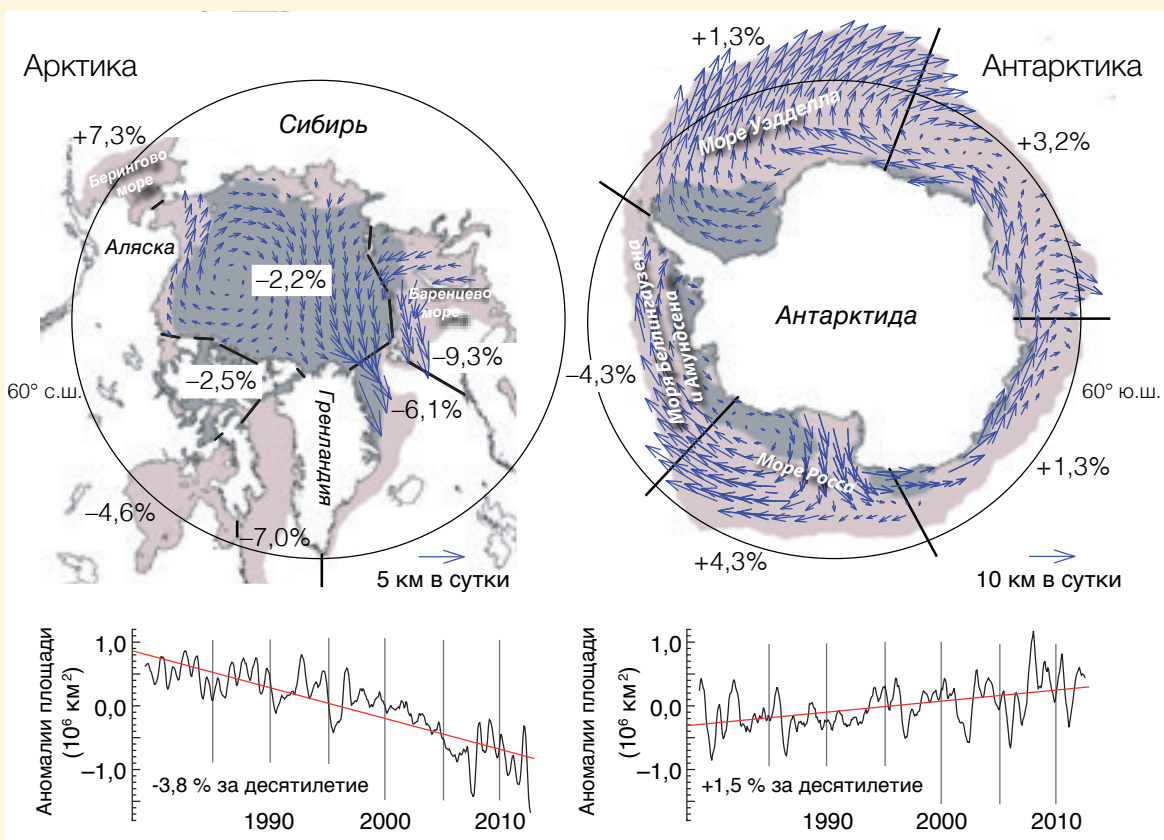
По данным спутниковых наблюдений за тот же 34-летний период средняя годовая площадь морского льда в Антарктике увеличивалась приблизительно на 1,5 % за десятилетие. Однако имеются региональные различия в трендах, а именно в морях Беллинсгаузена и Амундсена наблюдается, а в море Росса – более интенсивное увеличение площади морского льда, которое определяет общий тренд. Неясно, является ли меньшая величина общего увеличения площади морского льда в Антарктике индикатором климата, потому что площадь сильно изменяется от года к году и от места к

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 4.1 (продолжение)

месту вокруг континента. Результаты недавнего исследования дают основание полагать, что эти противоречивые тенденции в изменчивости ледяного покрова могут произойти из-за трендов региональной скорости и структуры поля ветра. Без более надежных оценок толщины и объема льда трудно определить, каким образом морское ледяной покров в Антарктике реагирует на изменяющийся климат, или какие параметры климата оказывают наибольшее влияние.

Имеются значительные различия в физической среде и процессах, которые влияют на состояние морского ледового покрова в Арктике и Антарктике и способствуют различию в их реакциях на изменение климата. Длинный и непрерывный ряд данных спутниковых наблюдений дал ясную картину сокращения морского ледяного покрова в Арктике, но имеющиеся данные не позволяют делать определенные заключения об общих изменениях морского льда в Антарктике и их причинах.



ЧЗВ 4.1, рисунок 1 | Схема средней циркуляции морского льда и десятилетние тренды (%) ежегодных аномалий площади льда (то есть, после исключения сезонного цикла) в разных секторах Арктики и Антарктики. Стрелки показывают среднее направление и величину дрейфа льда. Среднее состояние морского ледяного покрова для периода 1979 – 2012 гг. по данным спутниковых наблюдений; максимальная (минимальная) площадь показана затенением оранжевого (серого) цвета.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 4.2 | Исчезают ли ледники в горных районах?

Ледники исчезают на многих горных хребтах во всем мире в результате увеличения температуры атмосферы за последние десятилетия. Имеются сообщения об исчезающих ледниках в Канадской арктике и Скалистых горах; Андах; Патагонии; Европейских Альпах; на Тянь-Шане; в горах тропической зоны Южной Америки, Африки и Азии, и в других местах. В этих регионах за прошлые десятилетия исчезло более 600 ледников. Даже если не произойдет дальнейшего потепления, исчезнет еще гораздо больше ледников. Также вероятно, что некоторые горные цепи лишатся большинства, если не всех, своих ледников.

Во всех горных регионах, где сегодня имеются ледники, их объем значительно уменьшился за последние 150 лет. За это время исчезло множество небольших ледников. За некоторыми местными исключениями, сокращение ледников (по площади и объему) было уже широко распространено во всем мире и особенно сильно в течение 1940-х и после 1980-х годов. Однако имелись также фазы относительной стабильности в течение 1890-х, 1920-х и 1970-х годов, как это показывают долговременные измерения длины и моделирование баланса массы ледников. Традиционные измерения на местах (и во все большей мере самолетные и спутниковые измерения) дают устойчивые свидетельства того, что в большинстве регионов с оледенением скорость сокращения площади ледников за последние два десятилетия была больше, чем ранее, и что ледники продолжают сжиматься. В нескольких регионах, однако, отдельные ледники вели себя по-другому и наступали, в то время как большинство других отступали (например, на побережьях Новой Зеландии, Норвегии и южной части Патагонии (Чили), или в горной системе Каракорум в Азии). В целом, наступление в этих регионах – это результат специфических топографических и/или климатических условий (например, увеличение осадков).

Леднику может потребоваться несколько десятилетий для того, чтобы его протяженность подстроилась к мгновенному изменению климата. Таким образом, большинство ледников в настоящее время имеют большие размеры, чем они имели бы, если бы находились в балансе с современным климатом. Поскольку время, необходимое для подстройки, возрастает пропорционально размеру ледника, более крупные ледники будут продолжать сокращаться в течение следующих нескольких десятилетий, даже если температуры стабилизируются. Более мелкие ледники также будут продолжать сокращаться, но они подстроят свою протяженность быстрее и многие в конечном счете исчезнут полностью.

На развитие каждого ледника в будущем и на то, исчезнет ли он, влияют многие факторы, как, например, его размеры, уклон, диапазон высот, распределение площади по высоте и характеристики его поверхности (например, степень покрытия обломочным материалом). Эти факторы существенно изменяются от региона к региону, а также от одного соседнего ледника к другому. Внешние факторы, такие как окружающий рельеф и климатический режим, также важны для эволюции ледника в будущем. В более коротких временных масштабах (одно или два десятилетия) каждый ледник реагирует на изменение климата индивидуально и с различными особенностями.

За периоды более длительные, чем приблизительно 50 лет, реакция носит более последовательный характер и менее зависит от местных особенностей окружающей среды, что означает, что долгосрочные тенденции в развитии ледника могут быть хорошо смоделированы. Такие модели построены на понимании основных физических принципов. Например, увеличение локальной средней температуры воздуха без изменения в количестве осадков вызовет смещение высоты линии равновесия (ВЛР; см. Глоссарий) вверх приблизительно на 150 м на каждый градус Цельсия потепления атмосферы. Такое смещение вверх и его последствия для ледников различного размера и диапазона высот проиллюстрированы на рисунке 1, ЧЗВ 4.2.

Первоначально, у всех ледников имеется область аккумуляции (белая) над ВЛР и область абляции (голубая) под ВЛР (ЧЗВ 4.2, рисунок 1а). По мере смещения ВЛР вверх область аккумуляции сокращается, а область абляции расширяется, таким образом увеличивая размеры области потери льда за счет таяния (ЧЗВ 4.2, рисунок 1б). Такое нарушение баланса приводит к полной потере льда. После нескольких лет край ледника отступает и область абляции уменьшается до тех пор, пока длина ледника не подстроится к новому климату (ЧЗВ 4.2, рисунок 1с). В случае, когда изменение климата достаточно велико, чтобы устойчиво поднять ВЛР выше самого высокого участка ледника (ЧЗВ 4.2, рисунок 1б, справа), ледник в конечном счете исчезнет полностью (ЧЗВ 4.2, рисунок 1с, справа). Более высоко расположенные ледники, которые сохраняют свою область аккумуляции, уменьшатся в размерах, но не исчезнут (ЧЗВ 4.2, рисунок 1с, левый и средний). Крупный долинный ледник может потерять большую часть своего языка, возможно оставив озеро на своем месте (ЧЗВ 4.2, рисунок 1с, левый). Помимо температуры воздуха на смещение ВЛР влияют также изменения в количестве и сезонности осадков. Динамика ледника (например, скорость движения) также играет роль, но не рассматривается в этой упрощенной схеме.

(продолжение на следующей странице)

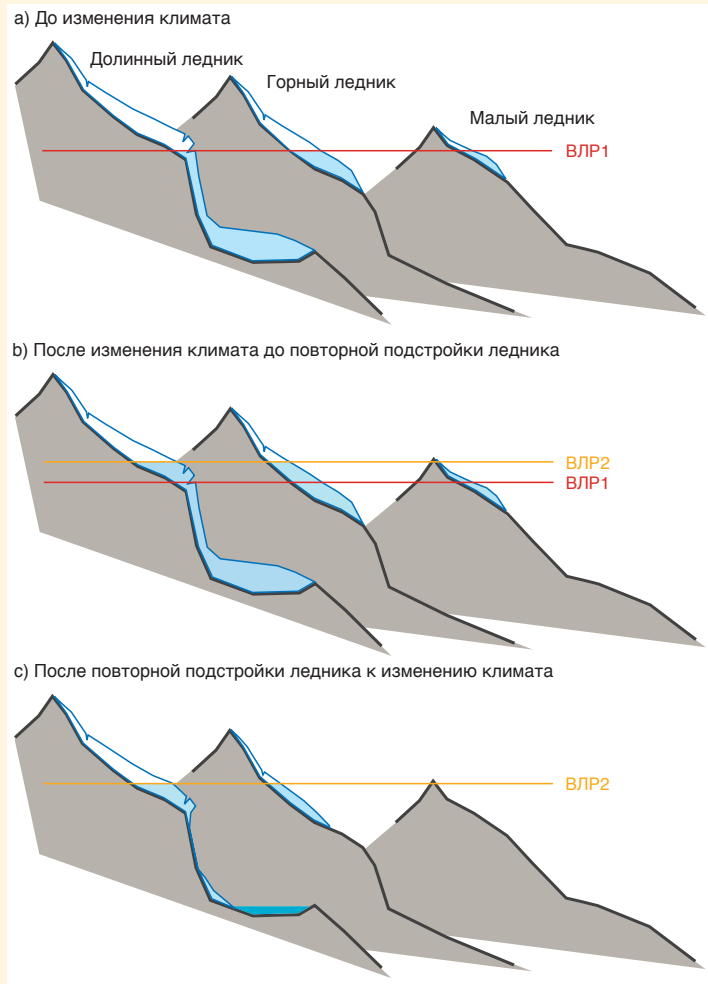
ЧЗВ 4.2 (продолжение)

Многие наблюдения подтвердили, что различные типы ледников действительно по-разному реагируют на недавнее изменение климата. Например, плоские, низкозалегающие языки крупных долинных ледников (такие, как на Аляске, в Канаде или Альпах) в настоящее время испытывают самые большие потери массы, в значительной степени независимо от ориентации склона, затенения или покрытия обломочным материалом. Этот тип ледника медленно подстраивает свою длину к новым климатическим условиям и реагирует, главным образом, уменьшением своей толщины без существенного отступления края. Напротив, менее крупные горные ледники с достаточно постоянным уклоном быстрее подстраиваются к новому климату, более быстро изменяя размеры своей области абляции (ЧЗВ 4.2, рисунок 1с, середина).

Долгосрочная реакция большинства типов ледников может быть очень хорошо определена на основе подхода, проиллюстрированного на рисунке 1, ЧЗВ 4.2. Однако трудно моделировать краткосрочную реакцию ледника или долгосрочную реакцию более сложных типов ледников (например тех, которые в большой степени покрыты обломочным материалом, питаются за счет снега лавин, имеют разьединенную область аккумуляции, носят пульсирующий характер или откалываются в воду). Эти случаи требуют детального знания других особенностей ледника, таких как баланс массы, распределение толщины льда и внутренняя гидравлика. Для большинства ледников во всем мире такие данные отсутствуют и их реакция на изменение климата может, таким образом, быть смоделирована только приближенно по упрощенной схеме, показанной на рисунке 1, ЧЗВ 4.2.

Например, в горной цепи Каракорум–Гималаи имеются ледники с большим разнообразием типов и климатических условий, а характеристики ледников все еще мало известны. Это делает определение их будущей эволюции особенно неоднозначным. Однако, как ожидают, в ближайшие годы эти пробелы в знании существенно уменьшатся благодаря более широкому использованию спутниковых данных (например для составления реестра ледников или определения скорости движения) и расширению наземной сети измерений.

В качестве резюме следует сказать, что судьба ледников будет неоднозначной в зависимости как от их характеристик, так и от будущих условий климата. Некоторые существующие ледники исчезнут, другие потеряют большую часть своих залегающих на небольшой высоте участков, а другие могут существенно не измениться. В случаях, когда ВЛР уже превышает высоту самого высокого участка конкретного ледника, ледник обречен на полное исчезновение, если климат не станет более холодным. Точно так же, все ледники исчезнут в тех регионах, где в будущем ВЛР поднимется выше уровня самых высоких их участков.



ЧЗВ 4.2, рисунок 1 | Схематическое представление трех типов ледников, расположенных на разных высотах, и их реакция на сдвиг вверх с высоты линии равновесия (ВЛР). а) Для данного климата ВЛР расположена на конкретном уровне (ВЛР1), и все ледники имеют определенный размер. б) Из-за роста температуры ВЛР сдвигается вверх к новому уровню (ВЛР2), что первоначально приводит к уменьшению области накопления и увеличению области абляции для всех ледников. в) После того, как размер ледника подстроился к новой ВЛР, ледник в долине (слева) утратил свой язык, а небольшой ледник (справа) исчез полностью.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 5.1 | Является ли Солнце главным фактором, вызвавшим недавние изменения климата?

Общее солнечное излучение (ОСИ, глава 8) представляет собой меру суммарной энергии, поступающей от Солнца на верхнюю границу атмосферы. Оно колеблется в широких временных пределах - от миллиардов лет до нескольких суток, хотя изменчивость на протяжении последних 140 лет была сравнительно небольшой. Изменения в солнечном излучении представляют собой важный фактор изменчивости климата (глава 1; рисунок 1.1) вместе с вулканическими выбросами и антропогенными факторами. Как таковые, они помогают объяснить наблюдаемые изменения глобальной приземной температуры в течение периода инструментальных наблюдений (ЧЗВ 5.1, рисунок 1; глава 10) и последнего тысячелетия. Хотя изменчивость солнечного излучения могла, вероятно, внести заметный вклад в изменения глобальной приземной температуры в XX веке, она не может объяснить наблюдаемое усиление ОСИ с момента начала его прямых измерений со спутников в конце 1970-х годов (главы 8,10).

Солнечное ядро представляет собой огромный термоядерный реактор, превращающий водород в гелий. При этом процессе образуется энергия, излучаемая во всю солнечную систему в виде электромагнитного излучения. Количество энергии, поступающей на верхнюю границу атмосферы, колеблется в зависимости от генерации и излучения электромагнитной энергии Солнцем и орбитального движения Земли вокруг Солнца.

Спутниковые приборы проводят прямые измерения ОСИ с 1978 г. и показывают, что в среднем около 1 361 Вт м⁻² достигают верхней границы атмосферы Земли. Участки поверхности Земли, загрязнение воздуха и облака играют роль зеркала и отражают около 30 % этой энергии обратно в космос. В периоды более активного Солнца ОСИ достигает более высоких значений. Солнечное излучение следует приблизительно 11-летнему циклу солнечных пятен: во время последнего цикла ОСИ колебалось в среднем приблизительно в пределах 0,1 %.

В доспутниковую эпоху вариации ОСИ оценивались по числу солнечных пятен (с 1610 г.) или по результатам анализа изотопов, образующихся в атмосфере и сохранившихся в полярных льдах и древесных кольцах. Четкие 50-100-летние периоды очень низкой солнечной активности, как, например, минимум Маундера между 1645 г. и 1715 г., часто именуются великими солнечными минимумами. Большинство оценок изменения ОСИ в период между минимумом Маундера и сегодняшним днем дают значения порядка 0,1 %, соответствующие амплитуде 11-летней изменчивости.

Как солнечная изменчивость может помочь объяснить данные о глобальной приземной температуре, наблюдаемой с 1870 г.? Для ответа на этот вопрос важно понять, что имеются и другие факторы изменения климата, причем каждый из них создает свои характерные режимы реагирования регионального климата. Тем ни менее, именно их комбинация вызывает наблюдаемые изменения климата. Изменчивость солнечной радиации и извержения вулканов представляют собой естественные факторы. С другой стороны, антропогенные (вызванные деятельностью человека) факторы включают изменения концентраций парниковых газов и выбросы видимых загрязнителей воздуха (аэрозолей) и других веществ в результате деятельности человека. «Внутренняя изменчивость» относится к колебаниям внутри климатической системы, например, из-за изменчивости погоды или таких явлений, как Эль-Ниньо - Южное колебание.

Относительные вклады естественных и антропогенных факторов меняются со временем. Рисунок 1, ЧЗВ 5.1, иллюстрирует эти относительные вклады на основе очень простых расчетов, в которых изменчивость средней глобальной приземной температуры является суммой четырех составляющих, линейно связанных с солнечным, вулканическим и антропогенным воздействиями и с внутренней изменчивостью. Глобальная приземная температура изменилась с 1870 по 2010 гг. приблизительно на 0,8 °C (ЧЗВ 5.1, рисунок 1а). Тем ни менее, это увеличение не является устойчивым: временами влияние факторов, приводящих к охлаждению поверхности Земли (вулканические извержения, низкая солнечная активность, большинство антропогенных аэрозольных выбросов) перевешивает влияние факторов, которые способствуют нагреву поверхности, а внутренняя изменчивость климатической системы вызывает дополнительные изменения, не связанные с внешним воздействием.

Вклад солнечной радиации в изменения глобальной приземной температуры определяется 11-летним солнечным циклом, который может объяснить колебания глобальной температуры до величины около 0,1 °C от минимума до максимума (ЧЗВ 5.1, рисунок 1b). Долгосрочный восходящий тренд солнечной активности в начале XX века мог усилить процесс потепления в течение этого периода вместе с внутренней изменчивостью, увеличением парниковых газов и приостановкой вулканической активности. Однако он не может объяснить увеличение температуры, наблюдающееся со второй половины 1970-х годов, к тому же с 1986 г. по 2008 г. отмечался слабый нисходящий тренд ОСИ (главы 8 и 10).

Вулканические извержения вносят вклад в изменение глобальной приземной температуры в виде эпизодического выброса аэрозолей в атмосферу, что охлаждает поверхность Земли (ЧЗВ 5.1, рисунок 1c). Крупные вулканические извержения, такие как извержение вулкана Пинатубо в 1991 г., могут привести к охлаждению поверхности приблизительно на 0,1 °C - 0,3 °C в течение трех лет.

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 5.1 (продолжение)

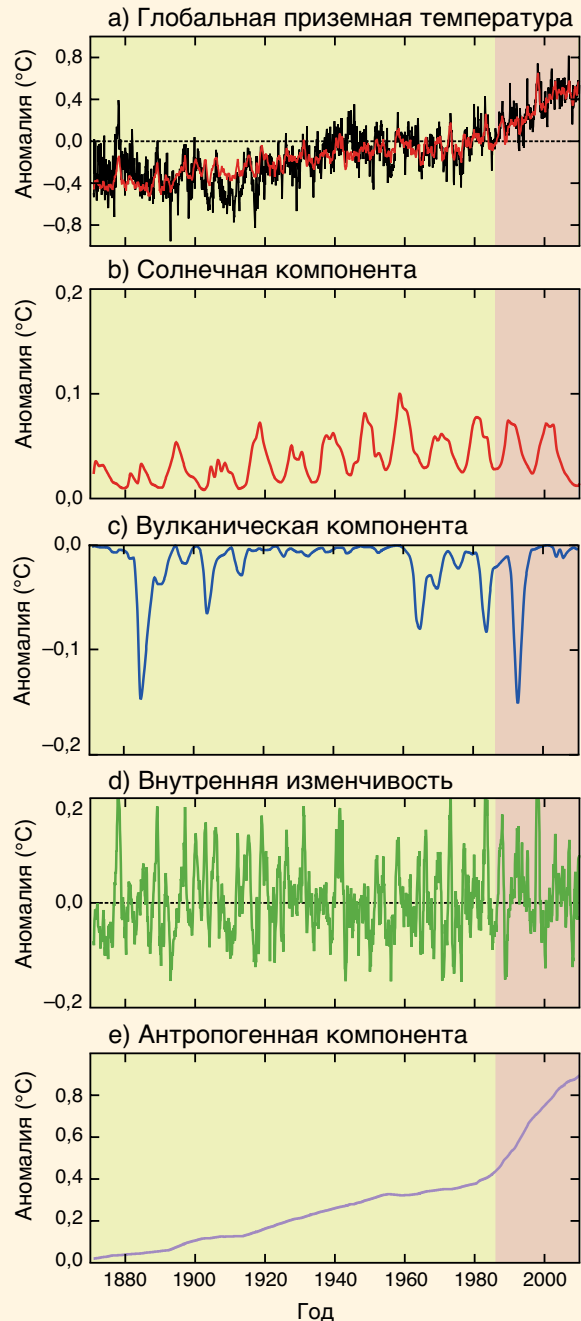
Наиболее важным компонентом внутренней климатической изменчивости является Эль-Ниньо-Южное колебание, которое оказывает главное влияние на межгодовые вариации средней температуры в тропиках и средней глобальной температуры (ЧЗВ 5.1, рисунок 1d). Относительно высокие годовые температуры отмечались в периоды Эль-Ниньо, например в 1997-1998 гг.

Вариабельность наблюдаемых глобальных приземных температур с 1870 г. по 2010 г. (рисунок 1а) отражает совместное влияние естественных (солнечного, вулканического, внутреннего; ЧЗВ 5.1, рисунок 1 b-d) факторов, накладывающихся на мультideкадный тренд потепления под влиянием антропогенных факторов (ЧЗВ 5.1, рисунок 1 е).

До 1870 г., когда антропогенные выбросы парниковых газов и аэрозолей были не столь велики, изменения в солнечной и вулканической активности и внутренняя изменчивость играли более важную роль, хотя конкретные вклады этих индивидуальных факторов в глобальную приземную температуру не вполне ясны. Минимумы солнечной активности, длящиеся несколько десятилетий, были часто связаны с холодными условиями. Однако в эти периоды также проявлялось влияние вулканических извержений, что затрудняло количественную оценку вклада солнечной радиации.

Изменения солнечной активности были связаны с изменениями климата приземного слоя и атмосферной циркуляции в региональном масштабе в Индо-Тихоокеанском, Северо-Азиатском и Северо-Атлантическом регионах. Механизмы, усиливающие региональные эффекты сравнительно слабых флуктуаций ОСИ в приблизительно 11-летнем солнечном цикле, включают динамические взаимодействия между нижней и верхней атмосферой, или между температурой поверхности океана и атмосферой, и слабо влияют на средние глобальные температуры (см. вставку 10.2)

Наконец, ослабление солнечной активности в период последнего минимума солнечного излучения несколько лет назад (ЧЗВ 5.1, рисунок 1 b) поднимает вопрос о его будущем влиянии на климат. Несмотря на неопределенности относительно будущей солнечной активности, имеется *высокая степень достоверности* того, что воздействия солнечной активности в промежутке между максимумами и минимумами будут гораздо слабее, чем изменения, вызванные антропогенными воздействиями.



ЧЗВ 5.1, рисунок 1 | Аномалии глобальной приземной температуры с 1870 по 2010 гг. и влияющие на них естественные (солнечные, вулканические и внутренние) и антропогенные факторы. а) Ход глобальной приземной температуры (1870-2010 гг.) относительно средней глобальной приземной температуры воздуха за 1961-1990 гг. (черная линия). Смоделированное изменение глобальной приземной температуры (а: красная линия), полученное с учетом суммарного воздействия на температуру естественных (b, c, d) и антропогенных факторов (е). б) Оценка реакции температуры на воздействие солнечной радиации. в) Оценка реакции температуры на воздействие вулканических извержений. г) Оценка изменчивости температуры за счет внутренней изменчивости, в данном случае связанной с Эль-Ниньо – Южным колебанием. е) Оценка реакции температуры на антропогенное воздействие, представляющее собой потепление, вызванное парниковыми газами, и похолодание, вызванное большинством аэрозолей.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 5.2 Насколько необычными являются темпы изменения нынешнего уровня моря?

Темпы изменения глобального среднего уровня моря, составляющие в среднем $1,7 \pm 0,2$ мм год⁻¹ в течение всего XX века и $2,8-3,6$ мм год⁻¹ с 1993 г. (глава 13), являются необычными в контексте вариаций в столетнем временном масштабе в последние два тысячелетия. Однако гораздо более быстрые темпы изменения уровня моря имели место во время прошлых периодов быстрого разрушения ледового щита, например, в периоды перехода от ледникового к межледниковому периоду. Исключительно сильные тектонические эффекты также могут являться движущей силой очень быстрых локальных изменений уровня моря, при которых локальные темпы превышают текущие глобальные темпы изменения.

«Уровень моря» обычно представляется точкой, в которой океан соприкасается с сушей. Специалисты по наукам о Земле определяют уровень моря как показатель положения морской поверхности относительно суши, каждая из которых может перемещаться относительно центра Земли. Показатель уровня моря, таким образом, отражает комбинацию геофизических и климатических факторов. Геофизические факторы, влияющие на уровень моря, включают опускание или подъем суши и ледниковые изостатические подстройки - реакцию системы суша-океан на изменения распределения масс на Земле, а именно льда в океане и на суше.

Влияние климата включает в себя колебания температуры океана, которые приводят к расширению или сжатию морской воды, изменениям в объеме ледников и ледяного покрова и сдвигам в океанских течениях. Локальные и региональные изменения в этих геофизических факторах создают существенные отклонения от глобальной оценки средних темпов изменения уровня моря. Например, локальный уровень моря падает темпами, приближающимися к 10 мм год⁻¹ вдоль северного берега Швеции (Ботнический залив) из-за продолжающегося подъема, вызванного таянием континентального льда после последнего ледникового периода. В противоположность этому, южнее Бангкока в период с 1960 по 2005 гг. локальный уровень моря рос со скоростью ~ 20 мм год⁻¹, преимущественно в результате оседания суши из-за откачки грунтовых вод.

В течение последних ~ 150 лет изменение уровня моря регистрировалось с помощью мареографов, а в последние 20 лет – спутниковыми альтиметрами. Для пересекающегося периода времени эти два массива данных дают сопоставимые результаты. Глобально осредненные темпы роста уровня моря, составляющие $\sim 1,7 \pm 0,2$ мм год⁻¹ в течение XX столетия, и приблизительно вдвое большие в последние два десятилетия, могут показаться маленькими по сравнению с данными наблюдений за волнами и приливными колебаниями на всем земном шаре, которые могут быть на порядок выше. Однако если эти темпы сохранятся в течение длительных промежутков времени, то их значения повлекут за собой важные последствия для густонаселенных, низко расположенных прибрежных районов, где даже небольшое повышение уровня моря может привести к затоплению больших областей суши.

Для доинструментального периода локальные темпы изменения уровня моря оцениваются по косвенным данным, а именно меткам в осадочных, ископаемых и археологических слоях. Эти косвенные данные ограничены в пространстве и отражают как локальные, так и глобальные условия. Однако реконструкция глобального сигнала упрощается в случаях, когда отдельные косвенные данные из широкого набора различных экологических параметров создают общий сигнал. Важно отметить, что геологические данные, особенно те, которые относятся к периоду до примерно 20 000 лет назад, чаще всего отражают изменения уровня моря только в масштабе тысячелетий. Таким образом, оценки изменения уровня моря в масштабах столетий основываются на информации, отражающей тысячелетние изменения, но необходимо признать, что такие данные не обязательно исключают более быстрые темпы изменения уровня моря в масштабах столетий.

Реконструкции хода уровня моря за последние два тысячелетия дают возможность использовать косвенные данные для периода, пересекающегося с периодом инструментальных наблюдений и простирающегося за его пределы. Недавним примером этого являются отложения в соляных болотах на атлантическом побережье США, совмещенные с реконструкциями хода уровня моря на основе данных мареографов и модельных прогнозов в целях документирования средних темпов изменения уровня моря с конца XIX века, равного $2,1 \pm 0,2$ мм год⁻¹. Этот длящийся столетие подъем уровня моря превышает темпы любого другого векового изменения за весь 2000-летний период, для которого имеются данные по тому же самому участку берега.

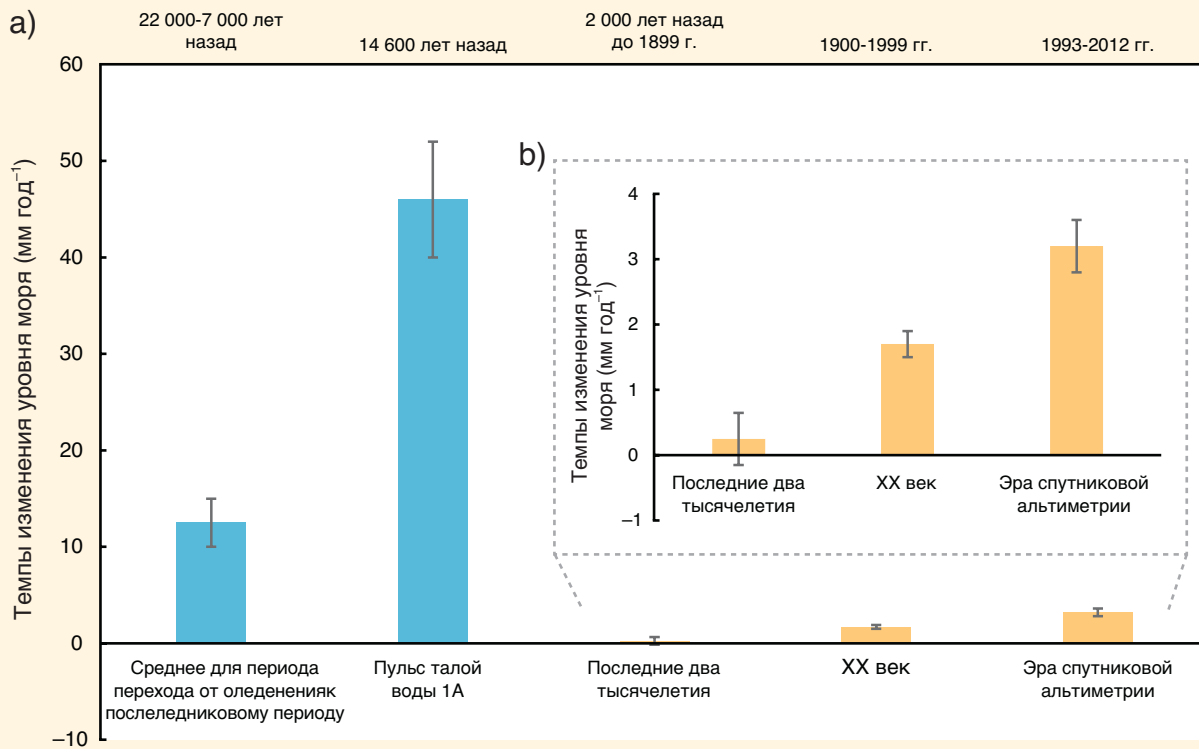
В более продолжительных масштабах времени иногда встречаются гораздо более быстрые темпы и большие амплитуды изменений уровня моря. Ледниковый–межледниковый климатические циклы за последние 500 000 лет привели к изменениям уровня моря на величину от 120 до 140 м. Большая часть этого изменения произошла в течение 10 000-15 000 лет тому назад во время перехода от ледникового к послеледниковому периоду и имела средние темпы $10-15$ мм год⁻¹. Такие большие скорости устойчивы только при выходе Земли из периода экстремального оледенения, когда большие ледниковые массы соприкасаются с океанами. Например, как показывают отложения ископаемых коралловых рифов, во время перехода от последнего ледникового максимума (около 21 000 лет тому назад) к современному межледниковому периоду (голоцену, последние 11 650 лет) глобальный уровень моря резко вырос на $14-18$ м за менее чем 500 лет. Это явление известно как пульс талой воды 1А, при котором темпы роста уровня моря достигали более 40 мм год⁻¹.

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 5.2 (продолжение)

Эти примеры для более длительных временных масштабов указывают на более высокие, чем наблюдающиеся сегодня, темпы изменения уровня моря, но нужно помнить, что все они имели место при особых обстоятельствах: во время перехода от полного обледенения к межледниковым условиям; в местах, где продолжают проявляться долгосрочные последствия этих переходов; в местах крупных тектонических сдвигов или в крупных дельтах, где преобладает опускание, обусловленное уплотнением отложений, иногда усиленное выдавливанием воды из земли.

Результаты инструментальных наблюдений и геологические данные поддерживают вывод о том, что современные темпы изменения глобального среднего уровня моря являются необычными при сравнении с теми, которые наблюдались и/или были оценены за два последних тысячелетия. По геологическим данным наблюдались более высокие темпы, особенно в период перехода от периода оледенения к послеледниковому периоду.



ЧЗВ 5.2, рисунок 1 | а) Оценки средних темпов изменения глобального среднего уровня моря (в мм год⁻¹) для пяти отдельных интервалов времени: последний переход от оледенения к послеледниковому периоду; пульс талой воды 1А; последние два тысячелетия; XX век; эра спутниковой альтиметрии (1993-2012 гг.). Голубые колонки обозначают временные интервалы перехода от периода оледенения к послеледниковому периоду, а оранжевые колонки обозначают современный межледниковый период. Черные линии показывают интервалы вероятных значений изменений среднего глобального уровня моря. Обратите внимание на более высокие темпы изменения глобального уровня моря, характерные для перехода от периода оледенения к послеледниковому периоду. б) Увеличенный в масштабе ход скорости глобального среднего уровня моря в течение трех временных интервалов современного межледникового периода.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 6.1 | Может ли существенно усилить потепление быстрый выброс метана и диоксида углерода, образующийся в результате таяния многолетней мерзлоты или потепления океана?

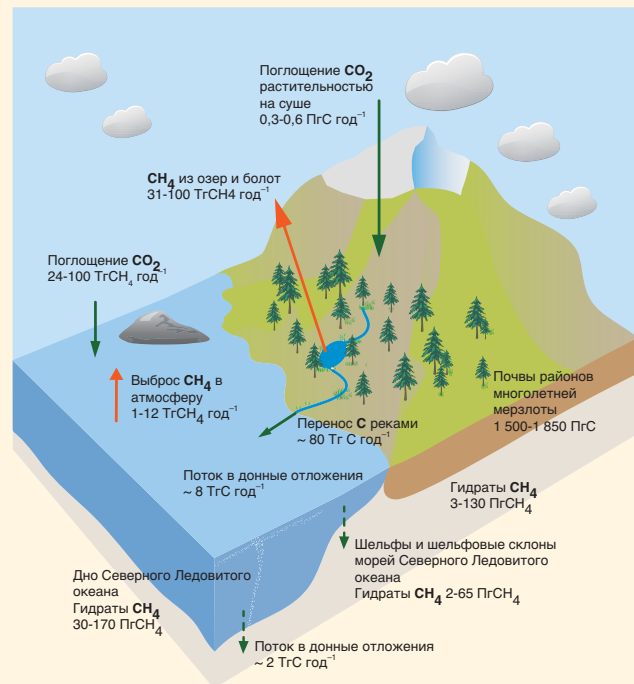
Многолетняя мерзлота представляет собой постоянно мерзлый грунт, в основном встречаемый в высоких широтах Арктики. Многолетняя мерзлота, включая многолетнюю мерзлоту под дном мелких шельфовых областей в Северном Ледовитом океане, содержит древние органические углеродные отложения. Некоторые из них являются реликтами последнего оледенения и содержат, по меньшей мере, вдвое больше углерода, чем находящийся в настоящее время в атмосфере в виде диоксида углерода (CO_2). Если бы значительная часть этого углерода выделилась в виде метана и CO_2 , то концентрации последних в атмосфере увеличились бы, что привело бы к повышению температуры атмосферы. Это, в свою очередь, вызвало бы еще большее выделение метана и CO_2 , создавая положительную обратную связь, которая еще больше усилила бы глобальное потепление.

Арктическая область в настоящее время создает результирующий сток CO_2 , поглощая за счет произрастающей растительности около $0,4 \pm 0,4$ ПгС год^{-1} , что составляет в настоящее время около 10 % глобального стока на суше. Она также является умеренным источником метана (CH_4): между 15 и 50 Тг (CH_4) год^{-1} выбрасывается преимущественно сезонно тальми водно-болотными угодьями, что соответствует примерно 10 % выброса болотного метана в глобальном масштабе. Пока нет ясных свидетельств того, что оттаивание вносит существенный вклад в современный глобальный баланс этих двух парниковых газов. Однако модельные исследования и экспертные оценки показывают со средней степенью согласия, что при устойчивом потеплении Арктики к 2100 г. потенциально возможен суммарный выброс до 350 ПгС в эквиваленте CO_2 .

Грунты многолетней мерзлоты на суше и океанских шельфах содержат большие объемы органического углерода, который должен оттаять и подвергнуться разложению микробами прежде, чем он сможет выделиться - преимущественно в виде CO_2 . Там, где содержание кислорода ограничено, как в переувлажненных почвах, некоторые микробы также образуют метан.

На суше многолетняя мерзлота покрыта поверхностным «активным слоем», который оттаивает летом и формирует часть экосистемы тундры. Если весенние и летние температуры в среднем повысятся, толщина активного слоя возрастет, делая большее количество углерода доступным для микробиологического разложения. Однако при увеличении температуры летних сезонов увеличилось бы поглощение диоксида углерода арктической растительностью путем фотосинтеза. Это означает, что углеродный баланс Арктики является хрупким и определяется соотношением между увеличенным поглощением и увеличенным выбросом углерода.

Также важны гидрологические условия во время летнего оттаивания. Таяние больших масс избыточного льда на суше может создать условия застоя воды в лужах и озерах, где недостаток кислорода вызовет образование метана. Сложность арктического ландшафта приводит к тому, что в условиях потепления климата мы имеем *низкую степень достоверности* в отношении того, какой из этих разных процессов мог бы стать преобладающим в региональном масштабе. Диффузия тепла и таяние многолетней мерзлоты требуют времени (фактически, многолетняя мерзлота в глубоких слоях Арктики может рассматриваться в качестве реликта последнего оледенения, который все еще продолжает медленно разрушаться), так что любая существенная потеря углерода в почве районов многолетней мерзлоты будет происходить в больших временных масштабах.



ЧЗВ 6.1 , рисунок 1 | Упрощенное графическое изображение основных современных хранилищ и потоков углерода в Арктической области, включая многолетнюю мерзлоту на суше, континентальном шельфе и в океане. (Адаптировано из McGuire et al., 2009; and Tarnocai et al., 2009). ТгС = 10^{12} гС, и ПгС = 10^{15} гС.

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 6.1 (продолжение)

При наличии достаточного количества кислорода разложение органического вещества в почве сопровождается выделением микробами тепла (аналогично компосту), которое в летний период может стимулировать дальнейшее оттаивание многолетней мерзлоты. В зависимости от содержания в многолетней мерзлоте углерода и льда, а также от гидрологического режима, этот механизм в условиях потепления климата мог бы запустить процесс довольно быстрого локального разрушения многолетней мерзлоты.

Модельные исследования динамики многолетней мерзлоты указывают на сравнительно медленную положительную обратную связь во временных масштабах в сотни лет. В период до 2100 г. могло бы выделиться до 250 ПгС в виде CO_2 и до 5 Пг в виде CH_4 . Поскольку метан имеет более высокий потенциал потепления за счет парникового эффекта, это соответствует дополнительным 100 ПгС в эквиваленте CO_2 , выброшенным до 2100 г. Эти объемы одинаковы по величине с теми, которые выделяются за счет других биохимических обратных связей, например дополнительного CO_2 , выделяемого при глобальном потеплении почв суши. Однако современные модели не отражают всех сложных процессов в Арктике, происходящих при таянии многолетней мерзлоты, таких как образование озер и прудов.

Гидраты метана представляют собой другую форму замёрзшего углерода, встречающуюся в почвах с глубоким слоем многолетней мерзлоты, на океанских шельфах, шельфовых склонах и в донных отложениях в более глубоких районах океана. Они состоят из метана и кластеров молекул воды, которые устойчивы только в определенном диапазоне низких температур и высокого давления. На суше и в океане большинство этих гидратов образуются из биогенного углерода морского или наземного происхождения, подвергшегося разложению при отсутствии кислорода и запертого в водной среде при подходящих условиях температуры и давления.

Любое потепление почв в районах многолетней мерзлоты, океанских вод и отложений и/или изменение давления могут дестабилизировать эти гидраты с выделением содержащегося в них CH_4 в океан. Во время крупных, более спорадических выбросов, часть этого CH_4 могла бы также выделиться в атмосферу. Имеются большие залежи этих гидратов: только в Арктике количество CH_4 , накопленного в гидратах, может более чем в 10 раз превышать количество CH_4 , находящегося в настоящее время в глобальной атмосфере.

Как и оттаивание многолетней мерзлоты, высвобождение гидратов на суше – это процесс медленный, занимающий от десятилетий до столетий. Для более глубоких океанских районов и донных отложений потребуется еще больше времени, от сотен до тысяч лет, для того, чтобы достаточно прогреться для дестабилизации находящихся внутри них гидратов. Кроме того, для того, чтобы стать активным, метан, выделенный в глубоких водах, должен достичь поверхности и атмосферы, но большая его часть, как можно ожидать, будет поглощена микроорганизмами до того, как он попадет туда. Только CH_4 из гидратов на мелководных шельфах, таких как шельф в Северном Ледовитом океане к северу от Восточной Сибири, может реально достичь атмосферы и оказать влияние на климат.

В нескольких последних исследованиях получены данные о локально значимых выбросах CH_4 на сибирском шельфе арктических морей и из сибирских озер. Неизвестно, какая часть этого CH_4 образуется из разлагающегося органического углерода, и какая – за счет дестабилизации гидратов. Также нет доступных данных для определения того, были ли эти источники стимулированы недавним региональным потеплением или же они существовали всегда – возможно, что эти утечки CH_4 существовали в течение всего времени после таяния ледника. В любом случае, эти источники вносят очень малый вклад в глобальный баланс CH_4 - менее 5 %. Это также подтверждается наблюдениями за концентрацией атмосферного метана, которые не показывают существенного увеличения над Арктикой.

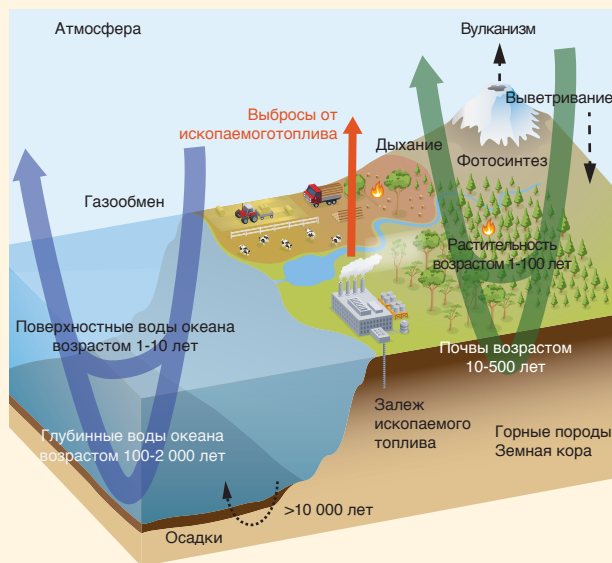
Однако модельные исследования и экспертные оценки показывают, что при потеплении Арктики выбросы CH_4 и CO_2 увеличатся и создадут положительную обратную связь. В масштабах нескольких столетий эта обратная связь будет умеренной, с величиной, аналогичной другим обратным связям между климатом и наземной экосистемой. Однако в масштабах тысячелетий и более выбросы из многолетней мерзлоты и шельфов/шельфовых склонов гораздо более важны, поскольку они обусловлены наличием крупных хранилищ углерода и гидрата метана.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 6.2 | Что происходит с диоксидом углерода после его выброса в атмосферу?

Будучи выброшенным в атмосферу, диоксид углерода (CO_2) прежде всего быстро распределяется между атмосферой, верхним слоем океана и растительностью. Впоследствии углерод продолжает перемещаться между различными резервуарами глобального углеродного цикла, такими как почва, глубокие слои океана и горные породы. Некоторые из этих процессов обмена протекают медленно. В зависимости от количества выделенного CO_2 от 15 % до 40 % остается в атмосфере на период до 2 000 лет, после чего устанавливается новый баланс между атмосферой, биосферой суши и океаном. Геологическим процессам потребуется что-то около от десятков до сотен тысяч лет, а возможно и более, для того, чтобы далее перераспределить углерод между геологическими резервуарами. Более высокие концентрации CO_2 в атмосфере и связанные с этим воздействия существующих выбросов на климат будут, таким образом, сохраняться в течение очень длительного времени в будущем.

CO_2 представляет собой по большей части неактивный газ, который быстро перемешивается во всей тропосфере менее чем за год. В отличие от активных химических веществ в атмосфере, таких как метан, которые выводятся и выпадают за счет процессов осаждения, углерод, вместо этого, перераспределяется между различными резервуарами глобального углеродного цикла и, в конце концов, возвращается в атмосферу в различных масштабах времени. На рисунок 1, ЧЗВ 6.2, приведена упрощенная диаграмма глобального углеродного цикла. Незамкнутые стрелки характеризуют типичные временные интервалы переноса атомов углерода через разные резервуары.



ЧЗВ 6.2, рисунок 1 | Упрощенная схема глобального углеродного цикла, демонстрирующая типичный масштаб времени оборота для переносов углерода через основные резервуары.

воды переносят углерод от поверхности в глубинные слои океана. Морская биота также перераспределяет углерод: морские организмы наращивают органические ткани и кальциевые раковины в поверхностных водах, которые после своего отмирания погружаются в более глубокие воды, где за счет растворения и микробиологического разложения пополняют резервуар растворенного неорганического углерода. Небольшая доля достигает морского дна и захоранивается в донных осадках.

Дополнительный углерод из антропогенных выбросов создает эффект увеличения парциального давления CO_2 в атмосфере, которое, в свою очередь, усиливает обмен молекулами CO_2 между воздухом и морем. В результате неглубокие поверхностные воды океана достигают баланса с атмосферой в течение одного года или двух лет.

Перемещение углерода с поверхности на средние глубины и в более глубокие воды занимает больше времени - от десятилетий до многих веков. В еще более значительных временных масштабах в результате закисления океана поглощаемым диоксидом углерода происходит растворение карбонатных осадков на морском дне, что еще больше усиливает поглощение океаном. Однако согласно современным представлениям, если не произойдет существенного изменения циркуляции океана, то условия развития планктона останутся приблизительно неизменными поскольку они ограничиваются, главным образом, экологическими факторами, такими как биогенность и освещенность, а не наличием неорганического углерода, который не вносит существенного вклада в поглощение антропогенного CO_2 океаном.

До начала индустриальной эры глобальный углеродный цикл был приблизительно сбалансированным. Это следует из измерений в ледяных ядрах, которые показывают почти постоянную концентрацию CO_2 в атмосфере в течение последних нескольких тысяч лет до индустриальной эры. Однако антропогенные выбросы двуоксида углерода в атмосферу нарушили это равновесие. По мере роста глобальной концентрации CO_2 процессы обмена CO_2 с поверхностью океана и растительностью изменяются, так же, как и процессы последующего обмена внутри и между резервуарами углерода на суше, в океане и, в конечном счете, в земной коре. Таким путем дополнительный углерод перераспределяется в глобальном углеродном цикле до тех пор, пока обмен углеродом между различными его резервуарами достигнет нового, приблизительного баланса.

Над океаном молекулы CO_2 проходят через раздел воздух-море за счет процесса газообмена. В морской воде CO_2 взаимодействует с молекулами воды и образует угольную кислоту, которая очень быстро реагирует с большим объемом растворенного неорганического углерода (ионами бикарбоната и карбоната) в океане. Течения и опускающиеся плотные

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 6.2 (продолжение)

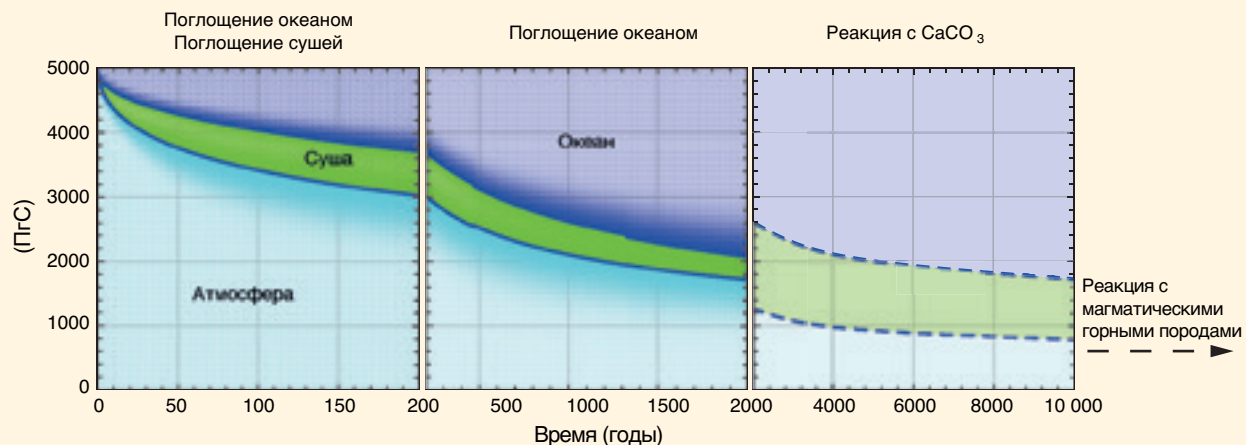
На суше растительность поглощает CO_2 при фотосинтезе и превращает его в органическое вещество. Часть этого углерода немедленно возвращается в атмосферу в виде CO_2 при дыхании растений. Остальное используется растениями для роста. Отмершее вещество растительности попадает в почву и, в конечном счете, разлагается микроорганизмами, а затем возвращается при дыхании обратно в атмосферу в виде CO_2 . Кроме того, углерод в растительности и почвах также преобразуется в CO_2 пожарами, насекомыми, травоядными животными, а также при сборе растений и последующем потреблении их домашним скотом или людьми. Помимо этого некоторое количество углерода переносится в океан ручьями и реками.

Увеличение CO_2 в атмосфере стимулирует фотосинтез и, соответственно, поглощение углерода. В дополнение к этому повышенные концентрации CO_2 помогают растениям в засушливых районах более эффективно использовать почвенную влагу. Это, в свою очередь, увеличивает биомассу в растительности и почвах и, тем самым, способствуют стоку углерода на суше. Однако величина этого стока также сильно зависит от других факторов, таких как наличие достаточного количества воды и питательных веществ.

Сопряженные модели углеродного цикла и климата показывают, что при потеплении климата меньшее количество углерода поглощается океаном и сушей, создавая положительную обратную связь с климатом. Много различных факторов вносят вклад в этот эффект: например в более теплой воде растворимость CO_2 уменьшается, так что изменения в химических реакциях углерода приводят в уменьшению поглощения избыточного атмосферного CO_2 . На суше более высокие температуры способствуют увеличению длительности вегетационного периода в умеренных и высоких широтах, но также увеличивают интенсивность выделения почвенного углерода при дыхании.

Время, необходимое для достижения нового баланса в распределении углерода, зависит от сроков переноса углерода через различные резервуары, который происходит в разных временных масштабах. Углерод сначала перераспределяется между «быстрыми» резервуарами углерода, такими как, атмосфера, поверхностные слои океана, растительность на суше и почвы во временных масштабах до нескольких тысяч лет. В более длительных временных масштабах важными становятся очень медленные вторичные геологические процессы - растворение карбонатных осадков и захоронение осадков в земной коре.

Рисунок 2, ЧЗВ 6.2, иллюстрирует разложение большого количества избыточного CO_2 (5 000 ПгС или приблизительно в 10 раз большее, чем кумулятивный CO_2 , выделенный с начала индустриальной эры до настоящего времени), выброшенного в атмосферу, и то каким образом он с течением времени перераспределяется между сушей и океаном. В течение первых 200 лет океан и суша поглощают одинаковое количество углерода. В более длительных временных масштабах преобладает поглощение океаном, поскольку он является более крупным по размеру резервуаром (~38 000 ПгС) по сравнению с сушей (~4 000 ПгС) и атмосферой (589 ПгС до индустриальной эры). С учетом химии океана размер первоначального поступления является важным: больший объем выброса предполагает, что большая доля CO_2 останется в атмосфере. По прошествии 2 000 лет атмосфера будет по-прежнему содержать от 15 % до 40 % первоначальных выбросов CO_2 . Дальнейшее снижение за счет растворения карбонатных осадков и реакции с вулканическими горными породами, таких как выветривание силикатов и захоронение осадков, займет время от, приблизительно, десятков до и сотен тысяч лет, или даже более того.



ЧЗВ 6.2, рисунок 2 | Уменьшение избыточного количества CO_2 в 5 000 ПгС, выброшенного в атмосферу в начальный момент времени, и его последующее перераспределение между сушей и океаном как функция времени, рассчитанные по совместным моделям углеродного цикла и климата. Ширина цветных диапазонов указывает на величину поглощения углерода соответствующим резервуаром. Слева и посередине представлены средние по нескольким моделям значения по данным проекта по сравнению моделей (Joos et al., 2013). Справа показаны результаты более долговременного перераспределения, включая растворение в океане карбонатных осадков, рассчитанного по модели системы Земля промежуточной сложности (по Archer et al., 2009b).

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 7.1 | Как облака влияют на климат и изменение климата?

Облака сильно влияют на современный климат, но одни только наблюдения не могут сказать, как они будут влиять на будущий, более теплый климат. Для исчерпывающего предсказания изменений в облачности требуется глобальная модель климата. Эти модели воспроизводят облачные поля, которые в грубом приближении напоминают наблюдаемые поля, но сохраняются существенные ошибки и неопределенности. Различные модели климата дают различные проекции того, как изменится облачность в условиях более теплого климата. На основе всех имеющихся данных представляется, что обратная связь облачность - климат усиливает глобальное потепление. Если это так, то степень такого усиления остается неопределенной.

Начиная с 1970-х годов ученые осознали критическую важность облаков для климатической системы и изменения климата. Облака влияют на климатическую систему самыми разными путями. Они создают осадки (дождь и снег), которые необходимы для большинства форм жизни на суше. Они нагревают атмосферу при конденсации водяного пара. Хотя некоторая часть сконденсировавшейся влаги вновь испаряется, осадки, достигающие поверхности, характеризуют результирующее нагревание воздуха. Облака сильно влияют на перенос через атмосферу как солнечного света (нагревающего планету), так и инфракрасной радиации (охлаждающей планету при ее излучении в космическое пространство). Наконец, в облаках имеются мощные восходящие потоки, которые способны быстро переносить воздух из приземного слоя до больших высот. Восходящие потоки переносят энергию, влагу, количество движения, малые газовые составляющие и аэрозольные частицы. На протяжении десятилетий климатологи используют как наблюдения, так и моделирование для исследования того, как меняются облака в зависимости от ежедневной погоды, сезонного цикла и при межгодовых изменениях, таких, как изменения, связанные с Эль-Ниньо.

Все облачные процессы имеют свойство меняться при изменении состояния климата. Обусловленные облаками обратные связи представляют большой интерес в контексте изменения климата. Любое изменение в том или иной облачном процессе, вызванное изменением климата и, в свою очередь, влияющее на климат, представляет собой обратную связь между облаками и климатом. Поскольку облака интенсивно взаимодействуют как с солнечной, так и с инфракрасной радиацией, малые изменения в облачности могут потенциально оказать влияние на климатическую систему.

Предложено множество возможных обратных связей между облаками и климатом, предполагающих изменения количества облаков, высоты их верхней границы и/или отражаемости облаков (см. ЧЗВ 7.1, рисунок 1). Как последовательно следует из научных публикаций, облака верхнего яруса усиливают глобальное потепление при их взаимодействии с инфракрасной радиацией, излучаемой атмосферой и поверхностью. Однако имеется меньшая определенность относительно обратных связей, обусловленных облаками нижнего яруса, и относительно обратных связей, вызываемых количеством и отражаемостью облаков в целом.

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 7.1, рисунок 1 | Схематическое представление важных механизмов обратных связей облаков.

ЧЗВ 7.1 (продолжение)

Мощные высокие облака эффективно отражают солнечную радиацию, а как мощные, так и тонкие высокие облака сильно ослабляют количество инфракрасной радиации, излучаемой атмосферой и поверхностью. Взаимная компенсация этих двух воздействий делает приземную температуру несколько менее чувствительной к изменениям количества облаков верхнего яруса, чем к изменениям количества облаков нижнего яруса. Эта компенсация могла бы перестать действовать, если бы имелся систематический сдвиг от мощных высоких облаков к тонким перистым облакам или наоборот. Хотя такая возможность не может быть исключена полностью, она в настоящее время не подтверждается какими-либо данными. С другой стороны, изменения высоты облаков верхнего яруса (для данного их количества) могут сильно повлиять на приземную температуру. Подъем облаков верхнего яруса ослабляет инфракрасную радиацию, излучаемую в космос поверхностью и атмосферой, но оказывает слабое воздействие на отраженную солнечную радиацию. Имеются серьезные свидетельства такого подъема в условиях более теплого климата. Это усиливает глобальное потепление в результате предотвращения ухода из климатической системы части дополнительной инфракрасной радиации, излучаемой атмосферой и поверхностью.

Облака нижнего уровня отражают много солнечной радиации обратно в космос, но для данного состояния атмосферы и подстилающей поверхности они оказывают лишь слабое влияние на инфракрасную радиацию, излучаемую Землей в космос. В результате они оказывают, в целом, охлаждающее воздействие на современный климат; в меньшей степени это справедливо для облаков среднего яруса. Для условий будущего климата, в котором повышение температуры обусловлено увеличением концентрации парниковых газов, большинство из оцененных МГЭИК климатических моделей предсказывают уменьшение количества облаков нижнего и среднего ярусов, что увеличит поглощение солнечной радиации и, таким образом, будет способствовать усилению потепления. Однако степень такого уменьшения сильно зависит от используемой модели.

Имеются также другие механизмы, посредством которых характеристики облаков могут изменяться в условиях более теплого климата. Изменения полей ветра и траекторий циклонов могут воздействовать на региональную структуру и сезонные режимы облачности и осадков. Некоторые исследования указывают на то, что одна из таких тенденций, наблюдающаяся в климатических моделях, а именно, смещение к полюсу облаков, связанных с траекториями циклонов средних широт, уже проявляется в данных наблюдений. Этот процесс также мог бы усилить глобальное потепление в результате смещения облаков в регионы, получающие меньшее количество солнечной радиации. Большее количество облаков может быть образовано из жидких капель, мелких, но многочисленных, и отражающих назад в космос больше радиации, чем облако, состоящее из более крупных кристаллов той же суммарной массы. Тонкие перистые облака, которые создают результирующий эффект потепления и трудно воспроизводятся в моделях, могут изменяться с помощью механизмов, не поддающихся моделированию, хотя какие-либо свидетельства этого отсутствуют. Другие процессы могут иметь региональное значение, например характер взаимодействий облачности с поверхностью может меняться над океаном с тающим морским льдом и над суши с ослабленной транспирацией растительности.

Еще нет пока широко признанных способов выявления обратных связей глобальной облачности по данным наблюдений долговременных трендов облачности или ее изменчивости в меньших временных масштабах. Тем не менее, все модели, использованные в настоящей оценке (и двух предыдущих оценках МГЭИК) дают результирующие обратные связи облачности, которые либо усиливают антропогенное потепление за счет парниковых газов, либо оказывают слабое общее воздействие. Обратные связи не «вводятся» в модели, но возникают в результате облачных процессов в моделируемой атмосфере и их влияния на потоки и трансформации энергии в климатической системе. Различия в интенсивности обратных связей облачности, создаваемых различными моделями, по большей степени вызваны различной чувствительностью моделей к изменениям концентрации парниковых газов.

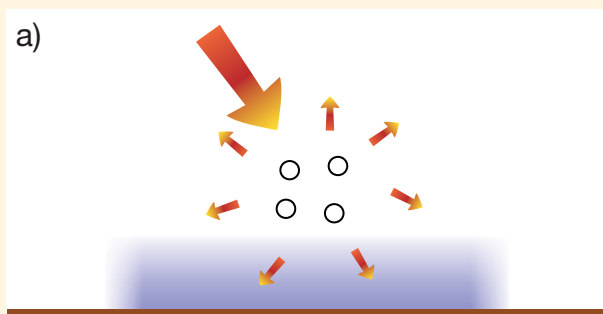
Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 7.2 | Как аэрозоли влияют на климат и изменение климата?

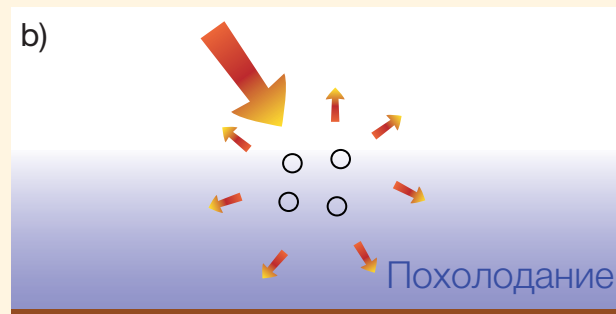
Атмосферные аэрозоли состоят из маленьких жидких или твердых частиц, взвешенных в атмосфере, не таких, как более крупные частицы облаков и осадков. Они поступают из естественных и антропогенных источников и могут влиять на климат многими и сложными путями через их взаимодействия с радиацией и облаками. В целом, модели и наблюдения показывают, что начиная с доиндустриальных времен антропогенные аэрозоли оказывали охлаждающее влияние на Землю, которое частично маскировало глобальное среднее потепление под воздействием парниковых газов, которое произошло бы в их отсутствии. Проецируемое уменьшение выбросов антропогенных аэрозолей в будущем в результате политики улучшения качества воздуха в конце концов выявит это потепление.

Атмосферные аэрозоли имеют типичное время жизни от одного дня до двух недель в тропосфере и около одного года в стратосфере. Они сильно варьируют в размерах, химическом составе и форме. Некоторые аэрозоли, такие как пыль и морские брызги, полностью или частично имеют морское происхождение, тогда как другие аэрозоли, такие как сульфаты и дым, образуются как из естественных, так и антропогенных источников.

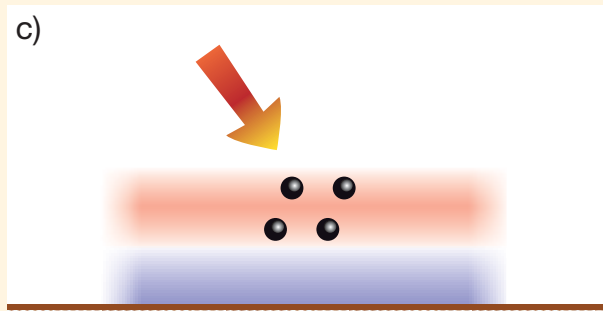
Аэрозоли влияют на климат разными способами. Во-первых, они рассеивают и поглощают солнечную радиацию, что изменяет радиационный баланс Земли (см. ЧЗВ 7.2, рисунок 1). Аэрозольное рассеяние, как правило, увеличивает отражение радиации планетой и способствует тому, чтобы сделать климат более холодным, тогда как аэрозольное поглощение оказывает противоположное действие и способствует нагреванию климатической системы. Баланс между охлаждением и нагреванием зависит от характеристик аэрозоля и условий окружающей среды. Во многих исследованиях, основанных на наблюдениях, дана количественная характеристика локальных радиационных воздействий, обусловленных антропогенными и естественными аэрозолями, но определение их глобального воздействия требует наличия спутниковых данных и моделей. Одна из остающихся неопределенностей связана с черным углеродом - поглощающим аэрозолем, который не только труднее измерять, чем рассеивающий аэрозоль, но и который также вызывает сложную реакцию облаков. *(продолжение на следующей странице)*

Взаимодействия между аэрозолями и радиацией**Рассеивающие аэрозоли**

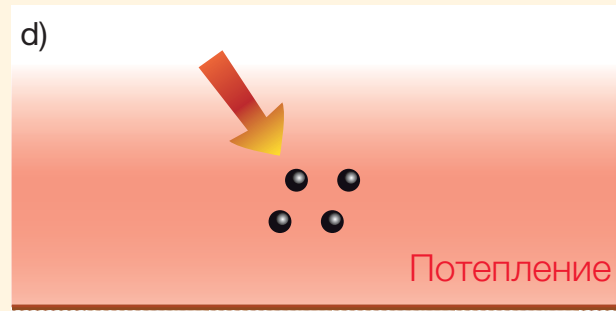
Аэрозоли рассеивают солнечную радиацию. До земной поверхности доходит меньше солнечной радиации, что приводит к локальному похолоданию.



Атмосферная циркуляция и процессы перемешивания приводят к распространению похолодания по региону и по вертикали.

Поглощающие аэрозоли

Аэрозоли поглощают солнечную радиацию. Это приводит к нагреванию аэрозольного слоя, но поверхность, которая получает меньше солнечной радиации, может локально охлаждаться.



В больших масштабах происходит результирующее нагревание поверхности и атмосферы, поскольку атмосферная циркуляция и процессы перемешивания перераспределяют тепловую энергию.

ЧЗВ 7.2, рисунок 1 | Обзор взаимодействий между аэрозолями и солнечной радиацией и их воздействия на климат. На левых рисунках показаны мгновенные радиационные воздействия аэрозолей, а на правых их суммарное последствие после реакции климатической системы на радиационные воздействия.

ЧЗВ 7.2 (продолжение)

Большинство выводов исследований совпадают в том, что радиационное воздействие антропогенных аэрозолей приводит к охлаждению планеты.

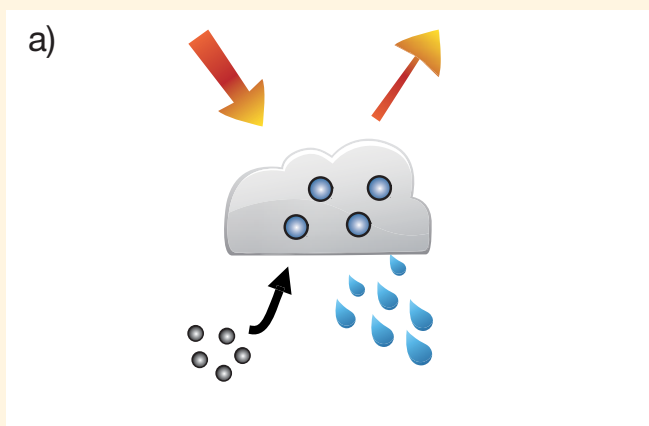
Аэрозоли также служат в качестве ядер конденсации и ледяной нуклеации, на которых могут образовываться капли и ледяные частицы (см. ЧЗВ 7.2, рисунок 2). Под воздействием большего количества аэрозольных частиц жидкокапельные облака стремятся образовать большее количество, но меньших по размеру капель, что приводит к тому, что облака отражают больше солнечной радиации. Однако имеется множество других механизмов взаимодействий между аэрозолями и облаками, особенно в ледяных или смешанных (жидких и ледяных) облаках, в которых фазовые сдвиги между жидкой водой и льдом чувствительны к концентрациям и характеристикам аэрозолей. Первоначальное мнение о том, что увеличение концентрации аэрозолей увеличит также количество низких облаков нижнего яруса, было подвергнуто сомнению, поскольку в этом случае в игру вступает целый ряд противодействующих друг другу процессов. Количественное описание общего воздействия аэрозолей на количество и свойства облаков по понятным причинам является трудным. Имеющиеся исследования, основанные на климатических моделях и спутниковых наблюдениях, в целом показывают, что результирующим воздействием антропогенных аэрозолей на облака является охлаждение климатической системы.

Поскольку аэрозоли распределены в атмосфере неравномерно, они могут нагревать или охлаждать климатическую систему в режимах, которые могут управлять изменениями погоды. Эти воздействия сложны и трудно моделируемы с помощью современных моделей, но несколько исследований указывают на существенные воздействия на осадки в определенных регионах.

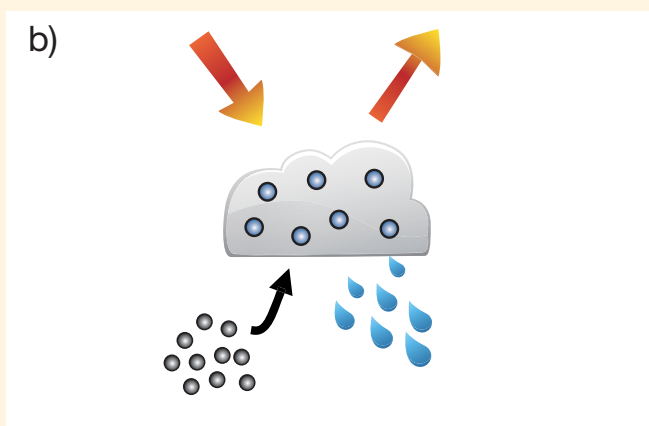
В связи с коротким временем жизни относительное количество аэрозолей (и их воздействия на климат) изменялось со временем, приблизительно следуя за антропогенными выбросами аэрозолей и их газообразных прекурсоров, таких как двуокись серы (SO_2) и некоторые летучие органические соединения. Поскольку антропогенные аэрозольные выбросы существенно увеличились за индустриальный период, это частично противодействовало потеплению, которое могло бы в ином случае произойти из-за повышения концентраций хорошо перемешанных парниковых газов. Аэрозоли, попадавшие в стратосферу в результате крупных извержений вулканов, таких как Эль-Чичон и Пинатубо, также вызывали периоды похолодания, которые, как правило, длились год или два.

В течение последних двух десятилетий антропогенные аэрозольные выбросы сократились в некоторых развитых странах, но возросли в развивающихся странах. Полагают, что воздействие аэрозолей на среднюю глобальную приземную температуру в течение этого периода невелико. Однако, согласно проекциям, выбросы антропогенных аэрозолей в конечном счете уменьшатся в ответ на проведение политики по обеспечению качества воздуха, что ослабит их охлаждающее влияние на поверхность Земли и приведет к усилению потепления.

Взаимодействия между аэрозолями и облаком



Аэрозоли служат облачными ядрами конденсации, на которых могут образовываться капли.



Повышенное количество аэрозолей приводит к увеличению концентрации мелких капель и отражающей способности облака. Однако имеются много других возможных процессов взаимодействий между аэрозолями, облаками и осадками, которые могут усиливать или ослаблять этот эффект.

ЧЗВ 7.2, рисунок 2 | Общее представление взаимодействий между аэрозолями и облаком и их воздействия на климат. Рисунки а) и б) представляют незагрязненное и загрязненное облако нижнего яруса, соответственно.

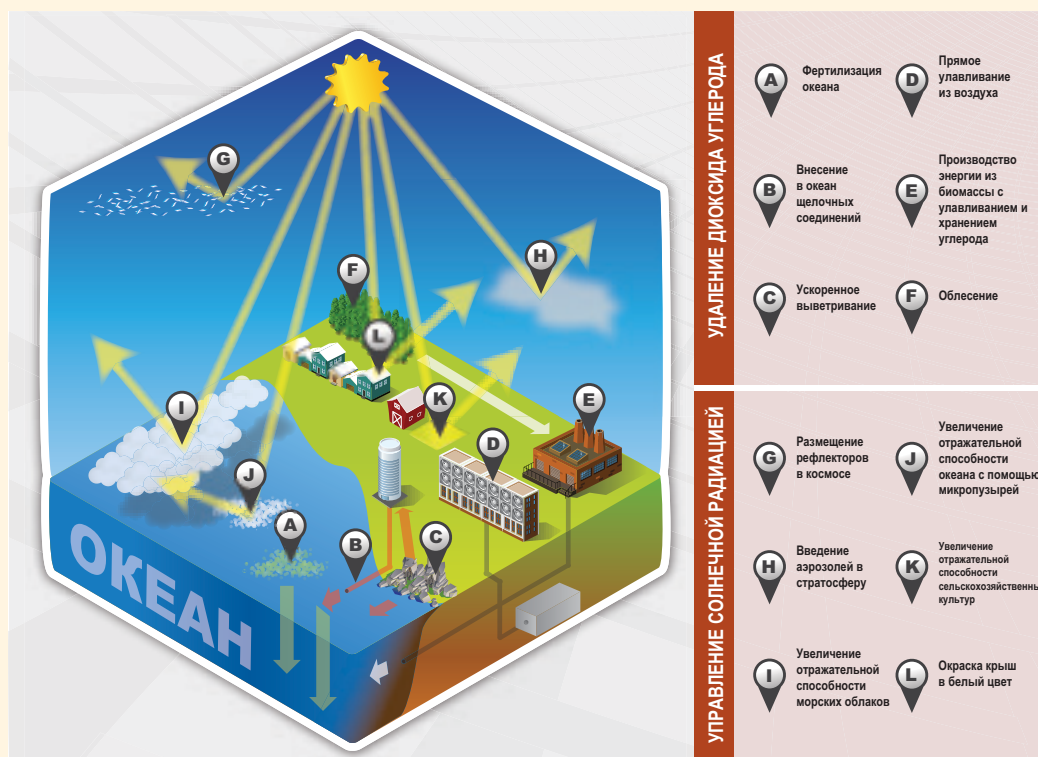
Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 7.3 | Может ли геоинжиниринг противодействовать изменению климата и какие побочные эффекты могли бы иметь место?

Геоинжиниринг, также называемый климатическим инжинирингом, определяется как широкий набор методов и технологий, целью которых является преднамеренное изменение климатической системы, с тем чтобы смягчить воздействия изменения климата. Обычно рассматриваются две четко определенные категории геоинжиниринговых методов: управление солнечной радиацией (УСР, оценка приведена в разделе 7.7) направлено на компенсирование нагревающего эффекта парниковых газов путем увеличения отражаемости планеты, тогда как удаление диоксида углерода (УДУ) направлено на уменьшение концентрации атмосферного CO_2 . Эти две категории действуют на различных физических принципах и в разных временных масштабах. Модели дают основание полагать, что если бы методы УСР были реализованы, то они были бы эффективны для противодействия повышению температуры и были бы менее сильным, но все же эффективным противодействием некоторым другим изменениям климата. УСР не будет противодействовать всем воздействиям изменения климата, и все предложенные методы геоинжиниринга также содержат риски и побочные эффекты. Дополнительные последствия в настоящее время нельзя спрогнозировать, поскольку уровень научного понимания как УСР, так и УДУ является низким. Имеется также множество (политических, этических и практических) вопросов, связанных с геоинжинирингом, которые выходят за рамки этого доклада.

Методы удаления диоксида углерода

Методы УДУ направлены на удаление CO_2 из атмосферы путем преднамеренного изменения процессов углеродного цикла или путем использования промышленных (например, химического) подходов. Углерод, выведенный из атмосферы, будет затем храниться в земле, океане или в геологических резервуарах. Некоторые методы УДУ основываются на биологических процессах, таких как крупномасштабное облесение/ лесовозобновление, захоронение углерода в почвах с использованием биоугля, биоэнергии с улавливанием и хранением углерода (БЗХУ) и фертилизация океана.



ЧЗВ 7.3, рисунок 1 | Обзор некоторых предложенных методов геоинжиниринга в том виде, в котором они были представлены. Метод удаления диоксида углерода (подробности см. в разделе 6.5): А) в океан вносятся биогенные вещества (фертилизация океана), которые увеличивают продуктивность поверхностного слоя океана и переносят часть образовавшегося органического углерода вглубь океана; В) в океан вносится щелочность из твердых минералов, которая вызывает растворение в океане дополнительных объемов атмосферного CO_2 ; С) увеличивается скорость выветривания силикатных горных пород, и в океан переносятся растворенные карбонатные минералы; D) атмосферный CO_2 улавливается химическим путем и хранится либо под землей, либо в океане; E) биомасса сжигается на электростанции с улавливанием углерода, и полученный CO_2 хранится либо под землей, либо в океане; и (F) CO_2 улавливается с помощью облесения и лесовозобновления для хранения в наземных экосистемах. Методы управления солнечной радиацией (подробности см. в разделе 7.7): G) в космосе размещаются рефлекторы для отражения солнечной радиации; H) в стратосферу вводятся аэрозоли; I) засеваются морские облака с тем, чтобы повысить их отражательную способность; J) на поверхности океана создаются микропузыри с тем, чтобы повысить ее отражательную способность; K) выращиваются сельскохозяйственные культуры с большей отражательной способностью, и L) крыши и другие элементы строений окрашиваются в белый цвет.

ЧЗВ 7.3 (продолжение)

Другие методы основываются на геологических процессах, таких как ускоренное выветривание силикатных и карбонатных горных пород на суше или в океане (см. ЧЗВ 7.3, рисунок 1). CO_2 , удаленный из атмосферы, в последующем хранится в органической форме в резервуарах на суше или в неорганической форме в океанических и геологических резервуарах, где он должен храниться по крайней мере сотни лет для того, чтобы УДУ было эффективным.

Методы УДУ уменьшили бы радиационное воздействие CO_2 в той степени, в которой они эффективны для удаления CO_2 из атмосферы и хранения выведенного углерода вне атмосферы. Некоторые методы также уменьшают закисление океана (см. ЧЗВ 3.2), а другие методы, предусматривающие захоронение в океане, могли бы, напротив, увеличить закисление океана, если углерод поглощается в форме растворенного CO_2 . Главная неопределенность, связанная с эффективностью методов УДУ, это объем емкости для хранения и устойчивости сохранности накопленного углерода. Постоянное удаление и хранение углерода методами УДУ уменьшило бы потепление климата в долгосрочном плане. Однако стратегии непостоянного хранения позволят CO_2 вернуться в атмосферу, где он вновь внесет вклад в потепление. Если концентрация CO_2 в атмосфере уменьшится, преднамеренное удаление CO_2 с помощью методов УДУ будет частично компенсироваться за счет реакции океанического и наземных резервуаров углерода. Это связано с тем, что некоторые океанические и наземные резервуары углерода будут выделять в атмосферу ранее накопленный антропогенный CO_2 . Для того чтобы полностью компенсировать предыдущие антропогенные выбросы CO_2 , с помощью технологий УДУ необходимо будет удалить не только CO_2 , который накопился в атмосфере с доиндустриальных времен, но также и антропогенный углерод, который ранее был поглощен наземной биосферой и океаном.

Применение биологических методов УДУ и большей части методов, основанных на химическом выветривании, невозможно расширять бесконечно и они неизбежно подвержены различным физическим или экологическим ограничениям, таким как конкурирующие потребности в земельных угодьях. Если предположить максимальную скорость поглощения в 200 ПгС за столетие при применении комбинации методов УДУ, то понадобится полтора столетия для того, чтобы удалить CO_2 , выброшенный за последние 50 лет, что делает затруднительным быстрое смягчение изменения климата даже при применении нескольких дополняющих друг друга методов УДУ. Методы прямого улавливания из воздуха, в принципе, способны действовать гораздо быстрее, но они могут быть ограничены в масштабе применения, включая ограничения в использовании энергии и экологические ограничения.

Методы УДУ также могут иметь климатические и экологические побочные эффекты. Например, рост продуктивности растительности может увеличить выбросы N_2O , которая является более активным парниковым газом, чем CO_2 . Крупномасштабное увеличение площади покрытия растительностью, например, путем облесения или посева энергокультур, может изменить характеристики поверхности, такие как отражательная способность или турбулентные потоки. Некоторые модельные исследования показали, что облесение в сезонно покрытых снегом бореальных регионах могло бы, действительно, ускорить глобальное потепление, тогда как облесение в тропиках могло бы быть более эффективно для замедления глобального потепления. Океанические методы УДУ, основанные на биологической продукции (например, фертилизация океана), будут оказывать многочисленные побочные воздействия на океанские экосистемы, кислотность океана, и могут вызвать выбросы парниковых газов, иных нежели CO_2 .

Методы управления солнечной радиацией

Средняя глобальная приземная температура на планете находится под сильным воздействием количества солнечной радиации, поглощенной атмосферой и поверхностью Земли, которая нагревает планету, и наличия парникового эффекта - процесса, с помощью которого парниковые газы и облака влияют на то, как энергия, в конечном счете, излучается обратно в космос. Усиление парникового эффекта приводит к росту приземной температуры до тех пор, пока не будет найдено новое равновесие. Если поглощается меньше приходящей солнечной радиации из-за того, что отражающая способность планеты увеличилась, или если энергия может излучаться в космос более эффективным образом из-за ослабления парникового эффекта, то средняя глобальная приземная температура уменьшится.

Предложенные методы геоинжиниринга, которые направлены на управление приходящими и исходящими потоками энергии, основаны на этом фундаментальном физическом принципе. В большинстве этих методов предлагается или ослабить достигающую Земли солнечную радиацию, или увеличить отражательную способность планеты путем усиления яркости атмосферы, облаков или поверхности (см. ЧЗВ 7.3, рисунок 1). В другом методе предлагается рассеивать облака верхнего яруса, именуемые перистыми, поскольку эти облака создают сильный парниковый эффект. Из фундаментальной физики следует, что, если с помощью любого из этих методов изменить потоки энергии, как это предполагается, то планета остынет. Однако ситуация осложняется множеством сложных физических процессов, которые управляют взаимодействиями между потоком энергии, атмосферной циркуляции, погодой и результирующим климатом.

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 7.3 (продолжение)

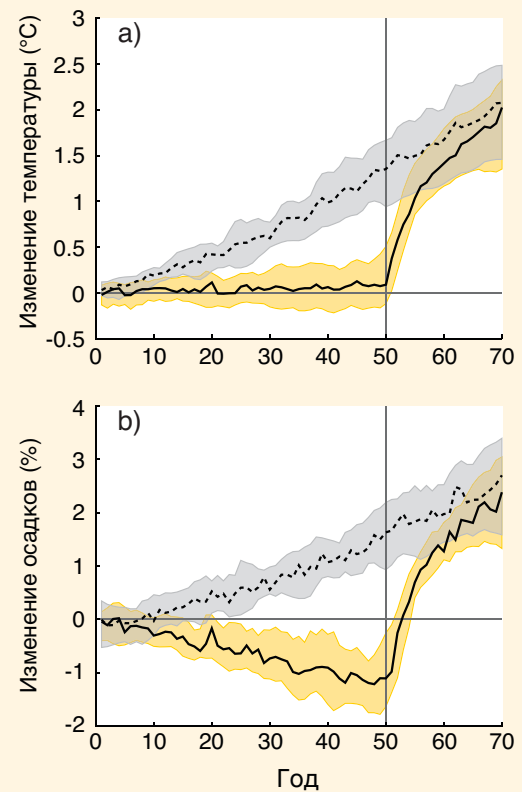
Хотя средняя глобальная температура планеты отреагирует на изменение количества солнечной радиации, достигающей поверхность, или на изменения парникового эффекта, температура в любом данном месте и в данный момент времени подвержена влиянию многих других факторов, и степень охлаждения благодаря УСР не будет, в общей сложности, равной степени нагревания, вызванного парниковыми газами. Например, УСР будет изменять темпы нагревания только в дневной период, тогда как усиление парникового эффекта может изменять температуру как днем, так и ночью. Это неполная компенсация может влиять на суточный ход приземной температуры, даже если средняя суточная приземная температура не изменяется. В качестве другого примера, модельные расчеты показывают, что однородное уменьшение солнечной радиации, достигающей земной поверхности, может компенсировать среднее глобальное потепление, вызванное CO_2 , но в некоторых регионах похолодание будет меньшим, чем в других. Модели дают основание считать, что в случае, если бы антропогенное потепление за счет парникового эффекта было полностью компенсировано стратосферным аэрозолем, то в полярных регионах осталось бы только слабое остаточное потепление, тогда как тропические регионы стали бы несколько холоднее, чем в доиндустриальные времена.

Теоретически УСР может быстро оказать противодействие антропогенному изменению климата, охладив Землю до доиндустриального уровня в течение одного или двух десятилетий. Это известно из климатических моделей, но также из климатических данных о крупных вулканических извержениях. Хорошо задокументированное по данным наблюдений извержение вулкана Пинатубо в 1991 г. вызвало временное увеличение количества стратосферных аэрозолей и быстрое уменьшение приземной температуры приблизительно на $0,5^\circ\text{C}$.

Климат состоит из многих факторов помимо приземной температуры. Последствия для других характеристик климата, таких как осадки, почвенная влага, расход воды в реках, снежный покров и морской лед, а также для экосистем могут быть важными. Как модели, так и теория показывают, что компенсация усиления парникового эффекта с помощью УСР в целях стабилизации приземной температуры привела бы к уменьшению среднего глобального количества осадков (см. результаты расчетов по идеализированной модели на рисунке 2, ЧЗВ 7.3) и могли бы произойти также региональные изменения. Такая неполная компенсация глобального и регионального климатических режимов делает маловероятной возможность того, что с помощью УСР удастся создать будущий климат, который будет «почти таким же» как тот, в котором мы живем сейчас или жили в прошлом. Однако имеющиеся климатические модели показывают, что геоинжиниринг климата с помощью УСР и высокие уровни атмосферной CO_2 были бы в целом ближе к климату XX века, чем будущий климат с повышенными концентрациями CO_2 и отсутствием УСР.

Применение методов УСР будет, по-видимому, сопряжено с другими побочными эффектами. Например, теория, наблюдения и модели дают основание полагать, что стратосферные сульфатные аэрозоли от вулканических извержений и естественные выбросы приведут к истощению слоя стратосферного озона, особенно если хлор от выбросов хлорофторуглерода будет сохраняться в атмосфере. Предполагается, что аэрозоли, вносимые в стратосферу при УСР, будут оказывать такое же воздействие. Истощение озонового слоя увеличит количество ультрафиолетовой радиации, достигающей земной поверхности и наносящей ущерб наземным и морским экосистемам. Стратосферные аэрозоли также увеличат отношение прямой и рассеянной радиации, достигающих поверхности, что, в целом, увеличит продуктивность растений. Имелась также некоторая озабоченность тем, что сульфатный аэрозоль, используемый при УСР, увеличит кислотный дождь, но модельные исследования дают основание полагать, что кислотный дождь, по-видимому, не является главной проблемой, поскольку интенсивность образования кислотного дождя из стратосферного аэрозоля, используемого при УСР, будет гораздо меньше интенсивности образования кислотного дождя от современных источников загрязнения. УСР также не будет иметь отношения к закислению океана, связанному с увеличивающимися концентрациями CO_2 в атмосфере и его воздействием на морские экосистемы.

(продолжение на следующей странице)



ЧЗВ 7.3, рисунок 2 | Изменение глобально осредненной (а) приземной температуры ($^\circ\text{C}$) и (б) осадков (%) в двух идеализированных экспериментах. Сплошные линии – это результаты моделирования с использованием управления солнечной радиацией (УСР) для компенсации увеличения концентрации CO_2 на $1\% \text{ год}^{-1}$ до 50-го года, после чего УСР прекращается. Пунктирные линии – это результаты моделирования при увеличении концентрации CO_2 на $1\% \text{ год}^{-1}$ без применения УСР. Желтая и серая области показывают интервалы между 25-м и 75-м перцентилями, полученные на основе расчетов по восьми различным моделям.

ЧЗВ 7.3 (продолжение)

Без выполнения традиционных работ по смягчению воздействий или без использования потенциальных методов УСР высокие концентрации CO_2 от антропогенных выбросов будут сохраняться в атмосфере в течение не менее тысячи лет, и УСР пришлось бы осуществлять до тех пор, пока концентрации CO_2 являются высокими. Прекращение УСР при сохранении все еще высоких концентраций CO_2 привело бы к очень быстрому потеплению в течение одного или двух десятилетий (см. ЧЗВ 7.3, рисунок 2), подвергаящему сильному стрессу экосистему и адаптацию человека.

Если бы УСР применялось для того, чтобы избежать некоторых последствий увеличения концентраций CO_2 , то риски, побочные эффекты и недостатки определенно увеличивались бы с увеличением масштаба УСР. Были предложены подходы для использования ограниченного во времени УСР совместно с агрессивными стратегиями по сокращению концентраций CO_2 для того, чтобы помочь избежать перехода через климатические пороговые величины или критические точки, которые в другом случае были бы неизбежны; оценка таких подходов требует очень тщательного анализа соотношения риска и выгод, который выходит далеко за рамки этого доклада.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 8.1 | Насколько важен водяной пар для изменения климата?

Водяной пар играет существенную роль в формировании климата Земли, внося самый большой вклад в естественный парниковый эффект. Однако количество водяного пара в атмосфере в основном определяется температурой, а не выбросами. По этой причине ученые считают его скорее малой составляющей атмосферы, обеспечивающей обратную связь, а не фактором воздействия на изменение климата. Антропогенные выбросы водяного пара за счет ирригации или охлаждения электростанций оказывают ничтожное воздействие на глобальный климат.

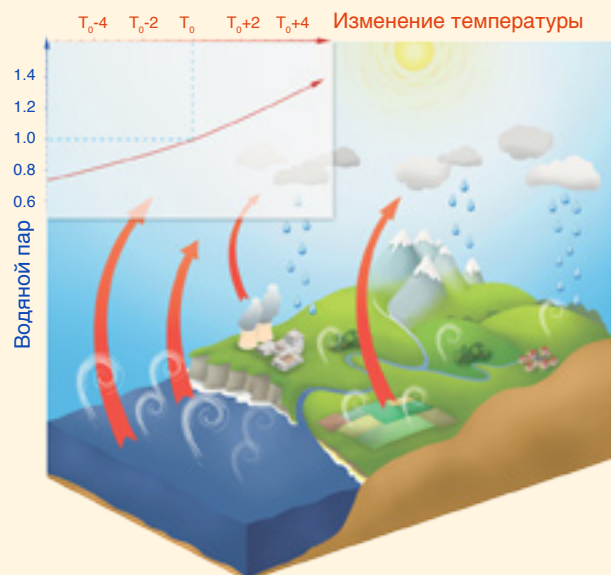
Водяной пар является основным парниковым газом в атмосфере Земли. Вклад водяного пара в естественный парниковый эффект относительно вклада двуокиси углерода (CO_2) зависит от используемого метода расчета, но можно считать, что он приблизительно в два-три раза больше. Дополнительный пар выбрасывается в атмосферу при антропогенной деятельности, преимущественно за счет увеличения испарения с орошаемых сельскохозяйственных культур, но также при охлаждении электростанций и, в незначительной мере, при сжигании ископаемого топлива. Поэтому может возникнуть вопрос о том, почему столько внимания уделяется CO_2 , а не водяному пару, как фактору воздействия на изменение климата.

Водяной пар ведет себя иначе, чем CO_2 в одном фундаментальном отношении: он может конденсироваться и осажаться. При охлаждении воздуха с высокой влажностью часть пара конденсируется в водяные капли или ледяные частицы и выпадает. Типичное время пребывания водяного пара в атмосфере составляет десять дней. Поток водяного пара в атмосферу из антропогенных источников существенно меньше, чем при «естественном» испарении. Поэтому он имеет незначительное влияние на общую концентрацию и существенно не влияет на долгосрочный парниковый эффект. Это основная причина, по которой водяной пар в тропосфере (обычно ниже высоты 10 км) не считается антропогенным газом, вносящим вклад в радиационное воздействие.

Антропогенные выбросы не оказывают существенного воздействия на водяной пар в стратосфере, которая представляет собой часть атмосферы выше приблизительно 10 км. Увеличение концентраций метана (CH_4), вызванное деятельностью человека, приводит к возникновению дополнительного источника влаги за счет окисления, которое частично объясняет наблюдаемые изменения в этом слое атмосферы. Это изменение концентрации атмосферной влаги оказывает радиационное воздействие, рассматривается в качестве фактора воздействия и может быть оценено. Концентрации влаги в атмосфере значительно варьировали в последние десятилетия. Полная амплитуда этих вариаций не достаточно понятна и, по-видимому, представляет собой в меньшей степени фактор воздействия, чем процесс обратной связи, накладывающийся на естественную изменчивость. Вклад стратосферного водяного пара в потепление, как фактора воздействия, так и обратной связи, гораздо меньше, чем вклад CH_4 или CO_2 .

Максимальное содержание водяного пара в воздухе определяется температурой. Характерный столб воздуха, простирающийся от поверхности до стратосферы в полярных регионах, может содержать всего несколько килограмм водяного пара на квадратный метр, в то время, как аналогичный столб воздуха в тропиках может содержать до 70 кг. С ростом температуры воздуха на каждый дополнительный градус атмосфера может содержать приблизительно на 7 % больше водяного пара (см. верхнюю левую вставку в рисунок 1, ЧЗВ 8.1). Это увеличение концентрации усиливает парниковый эффект и, таким образом, приводит к большему потеплению. Этот процесс, именуемый обратной связью водяного пара, хорошо изучен и описывается количественно. Он проявляется во всех моделях, используемых для оценки изменения климата, причем его интенсивность соответствует наблюдениям. Хотя наблюдалось увеличение содержания водяного пара в атмосфере, это изменение считается климатической обратной связью (вызванной увеличением температуры атмосферы) и его не следует интерпретировать как радиационное воздействие, вызванное антропогенными выбросами.

(продолжение на следующей странице)



ЧЗВ 8.1, рисунок 1 | Иллюстрация водного цикла и его взаимодействия с парниковым эффектом. Левая верхняя вставка показывает увеличение потенциального содержания водяного пара в воздухе с увеличением температуры (около 7 % на градус). Белые завитки иллюстрируют испарение, которое компенсируется осадками для замыкания водного баланса. Красные стрелки иллюстрируют исходящую инфракрасную радиацию, которая частично поглощается водяным паром и другими газами - процесс, который является одним из компонентов парникового эффекта. Стратосферные процессы на данном рисунке не отражены.

ЧЗВ 8.1 (продолжение)

В настоящее время водяной пар производит самый сильный парниковый эффект в земной атмосфере. Однако необходимы и другие газы, в первую очередь CO_2 , для того, чтобы сохранить присутствие водяного пара в атмосфере. В самом деле, если бы эти другие газы были удалены из атмосферы, то ее температура существенно упала бы, вызывая уменьшение водяного пара, что вызвало бы резкое ослабление парникового эффекта и привело бы Землю в замерзшее состояние. Таким образом, парниковые газы, не являющиеся водяным паром, обеспечивают температурный режим, который поддерживает современный уровень водяного пара в атмосфере. В этой связи, хотя CO_2 является главным антропогенным фактором, контролирующим климат, водяной пар создает мощную и быстро действующую обратную связь, усиливающую любое первоначальное воздействие приблизительно в два-три раза. Водяной пар не является значимым исходным фактором воздействия, но, тем не менее, представляет собой фундаментальную составляющую изменения климата.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 8.2 | Влияют ли улучшения качества воздуха на изменение климата?

Да, влияют, но в зависимости от того, какое(ие) загрязняющее(ие) вещество(а) они ограничивают, они могут приводить либо к охлаждению, либо к потеплению климата. Например, в то время как сокращение выбросов двуокиси серы (SO_2) приводит к большему потеплению, борьба с выбросами окиси азота (NO_x) оказывает как эффект охлаждения (в результате уменьшения концентрации тропосферного озона), так и потепления благодаря ее влиянию на время жизни метана и образование аэрозолей). Загрязнение воздуха может также влиять на режим осадков.

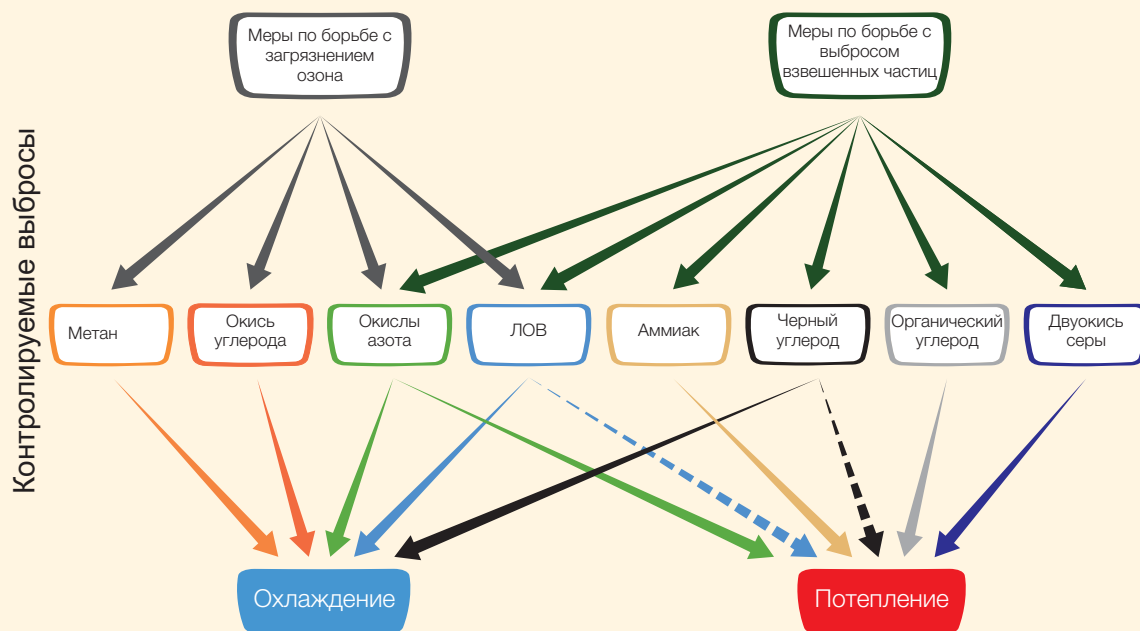
Качество воздуха является условной мерой загрязнения приземного воздуха такими загрязнителями как озон, окись углерода, NO_x и аэрозоли (твердые или жидкие частицы). Подверженность воздействию таких загрязнителей усугубляет респираторные и сердечно-сосудистые заболевания, причиняет вред растениям и наносит ущерб строениям. По этим причинам большинство крупных городских центров пытаются вести борьбу с выбросами атмосферных загрязняющих веществ.

В отличие от диоксида углерода (CO_2) и других хорошо перемешанных парниковых газов тропосферный озон и аэрозоли могут сохраняться в атмосфере всего от нескольких суток до нескольких недель, хотя не прямые взаимодействия в системе Земля могут продлить их влияние. Эти загрязнители наиболее активны вблизи района их выброса или формирования, где они могут вызвать локальные или региональные возмущения климата, хотя их глобально осредненное воздействие невелико.

Загрязнители воздуха влияют на климат разными путями в зависимости от их физических и химических характеристик. Парниковые газы, образующиеся из загрязняющих веществ, будут влиять на климат в первую очередь через коротковолновую и длинноволновую радиацию, тогда как аэрозоли могут дополнительно влиять на климат через взаимодействия между облаками и аэрозолями.

Меры по регулированию антропогенных выбросов метана (ЧЗВ 8.2, рисунок 1) в приземный слой с присутствием озона были определены как ситуации «обоюдного выигрыша». Последствия регулирования других предшественников озона не всегда столь очевидны. Например, можно ожидать, что ограничение выбросов NO_x будет создавать охлаждающий эффект, поскольку они уменьшают количество тропосферного озона, но более вероятно, что их воздействие на время жизни CH_4 и формирование аэрозолей, напротив, вызовет общее потепление.

(продолжение на следующей странице)



ЧЗВ 8.2, рисунок 1 | Схематическая диаграмма влияния мер по борьбе с загрязнением на отдельные виды выбросов и их воздействие на климат. Сплошная черная линия означает очевидное воздействие; пунктирная линия — неочевидное воздействие.

ЧЗВ 8.2 (продолжение)

За последние несколько десятилетий спутниковые наблюдения выявили увеличение в атмосфере концентраций SO_2 (основного прекурсора рассеивающих солнечную радиацию сульфатных аэрозолей) в результате выбросов из сжигающих уголь электростанций в восточной части Азии. Наиболее современные электростанции используют поглотители газов для сокращения таких выбросов (но не для сокращения сопутствующих выбросов CO_2 и ослабления связанного с ними долгосрочного потепления климата). Это улучшает качество воздуха, но одновременно снижает охлаждающее влияние сульфатных аэрозолей и тем самым усиливает потепление. Охлаждающий эффект аэрозолей возникает за счет взаимодействий между аэрозолем и радиацией и между аэрозолем и облаками и оценивается в $-0,9 \text{ Вт м}^{-2}$ (все аэрозоли совокупно, раздел 8.3.4.3), начиная с доиндустриальной эры, при этом он особенно усилился во второй половине XX века, когда антропогенные выбросы резко возросли.

С другой стороны, черный углерод или сажа поглощает тепло в атмосфере (что ведет к радиационному воздействию в $0,4 \text{ Вт м}^{-2}$ от антропогенных выбросов в результате сжигания ископаемого топлива и биотоплива) и, при оседании на снег, уменьшает его альбедо или способность отражать солнечную радиацию. Сокращения выбросов черного углерода могут, таким образом, создавать охлаждающий эффект, но дополнительное взаимодействие черного углерода с облаками является неопределенным и способно привести к некоторому противодействующему потеплению.

Целью механизмов контроля качества воздуха может быть также конкретный сектор деятельности человека, такой как транспортные перевозки или выработка энергии. В этом случае совместный выброс веществ в результате деятельности конкретного сектора приведет к сложному взаимодействию химических и климатических возмущений. Например, дым от сжигания биотоплива содержит смесь как поглощающих, так и рассеивающих частиц, а также прекурсоров озона, для которых трудно оценить их совместное воздействие на климат.

Таким образом, действие механизмов контроля качества приземного воздуха будет иметь определенные последствия для климата. Некоторые сопряженности между контролируемыми выбросами и климатом пока еще плохо изучены или определены, включая влияние загрязнителей воздуха на режим осадков, что затрудняет полную количественную оценку таких последствий. Имеется также важный поворот в потенциальном воздействии изменения климата на качество воздуха. В частности, наблюдаемая корреляция между концентрацией приземного озона и температурой в загрязненных районах показывает, что одно только повышение температуры при изменении климата может ухудшить загрязнение в летнее время, действующее как «климатическое наказание». Это «наказание» означают, что потребуются более жесткие механизмы контроля за приземным озоном для достижения конкретного целевого показателя. Кроме того, прогнозируемые изменения в частоте и продолжительности застойных явлений могут влиять на качество воздуха. Эти особенности будут меняться от региона к региону и их будет трудно оценить, но лучшее понимание, количественное описание и моделирование этих процессов прояснят общее взаимодействие между загрязнителями воздуха и климатом.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 9.1 | Улучшаются ли климатические модели и как мы могли бы узнать об этом?

Климатические модели представляют собой чрезвычайно сложные компьютерные программы, которые инкапсулируют наши знания о климатической системе и моделируют, с максимально возможной на данный момент точностью, сложные взаимодействия между атмосферой, океаном, поверхностью суши, снегом и льдом, глобальной экосистемой и различными химическими и биологическими процессами.

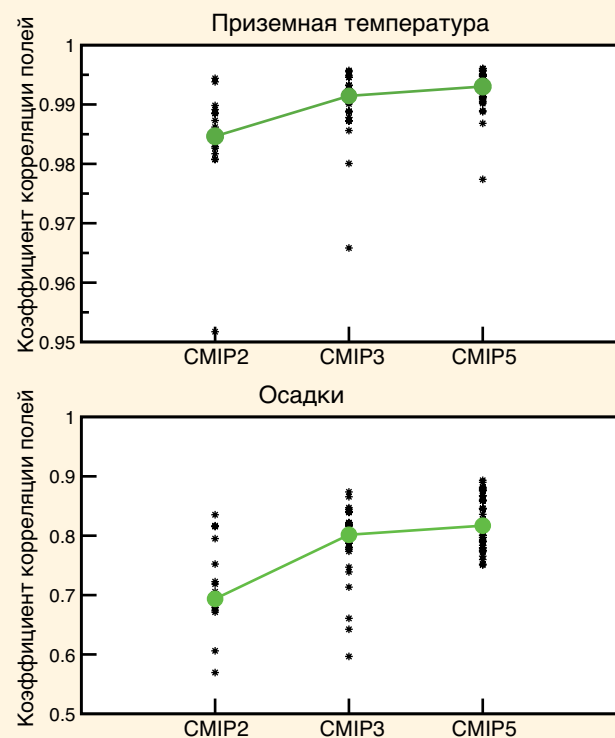
Сложность климатических моделей (представляющих собой описание физических процессов, таких как взаимодействие облаков и земной поверхности, а во многих моделях также и описание глобальных циклов углерода и серы), значительно увеличилась со времени Первого доклада МГЭИК об оценках 1990 г., так что в этом смысле современные модели системы Земля значительно «лучше», чем модели той эры. Со времени Четвертого доклада об оценке их развитие продолжилось, при этом другие факторы также внесли вклад в совершенствование моделей. Более мощные суперкомпьютеры позволяют современным моделям разрешать более мелкие пространственные детали. Сегодняшние модели также отражают более четкое понимание климатических процессов. Это понимание происходит из проводящихся исследований и анализа, а также из данных новых и более совершенных наблюдений.

Сегодняшние климатические модели, в принципе, лучше своих предшественников. Однако каждый добавленный элемент усложнения, хотя и предназначенный улучшить некоторые аспекты моделирования климата, создает новые источники возможной ошибки (например, за счет неопределенности параметров) и новые виды взаимодействий между компонентами модели, которые, пусть даже временно, ухудшают моделирование других аспектов климатической системы. Более того, несмотря на достигнутый прогресс, сохраняется научная неопределенность относительно деталей многих процессов.

Важное соображение состоит в том, что эффективность модели может быть оценена только по отношению к прошлым наблюдениям, с учетом при этом естественной внутренней изменчивости. Для того, чтобы быть уверенными в будущих проекциях таких моделей, необходимо хорошо моделировать исторический климат, его изменчивость и изменение. Сфера оценки моделей, с точки зрения вида и количества имеющихся наблюдений, доступности хорошо скоординированных модельных экспериментов и расширенного использования различных критериев эффективности, обеспечила гораздо больший объем количественной информации об эффективности моделей. Но только этого может быть недостаточно. Если прогнозы погоды и сезонные прогнозы климата могут проверяться на регулярной основе, то для климатических проекций на столетие и более это сделать невозможно. Это особенно важно, поскольку антропогенное воздействие сдвигает климатическую систему к условиям, не наблюдавшимся ранее по данным инструментальных наблюдений, и это всегда будет ограничением.

Количественное описание эффективности моделей является темой, которая обсуждалась во всех предыдущих докладах Рабочей группы I МГЭИК. Повторное прочтение этих предыдущих оценок позволяет получить общее представление о сделанных усовершенствованиях. Предыдущие доклады, как правило, предоставляли довольно обширное исследование эффективности моделей, показывая различия между смоделированными вариантами различных климатических количественных показателей и соответствующими оценками данных наблюдений.

(продолжение на следующей странице)



ЧЗВ 9.1, рисунок 1 | Возможности моделей по воспроизведению полей средней годовой температуры и осадков, как это следует из результатов трех последних этапов Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP2, модели приблизительно 2000 г.; CMIP3, модели приблизительно 2005 г.; и CMIP5, современное поколение моделей). Рисунок показывает корреляцию (мера подобия пространственных структур) между наблюдаемыми и смоделированными полями температуры (верхняя часть) и осадков (нижняя часть). Большие значения указывают на лучшее соответствие между смоделированными и наблюдаемыми пространственными структурами. Черные символы показывают коэффициенты корреляции для индивидуальных моделей, а большие зеленые символы - медианное значение (т.е., половина результатов расчетов превышает, а другая половина находится ниже этого значения). Рост эффективности моделей очевидно следует из роста корреляции для последовательных поколений моделей.

ЧЗВ 9.1 (продолжение)

Некоторые модели неизбежно будут демонстрировать лучшие характеристики, чем другие, для некоторых климатических переменных, но очевидно, что ни одна модель не окажется однозначно «лучше всех» по всем показателям. За последнее время был достигнут прогресс в расчетах различных критериев эффективности, которые синтезируют параметры эффективности моделей по критерию их соответствия различным наблюдениям в соответствии с простой цифровой шкалой. Конечно, определение такой шкалы, способ ее расчета, используемые наблюдения (которые имеют свои собственные неопределенности) и методика, по которой различные шкалы будут объединены, очень важны и повлияют на конечный результат.

Тем ни менее, если критерии рассчитаны последовательным образом, то можно сравнить различные поколения моделей. Результаты таких сравнений, в целом, показывают, что хотя каждое поколение демонстрирует целый диапазон характеристик эффективности, средний индекс эффективности моделей постоянно улучшается от одного поколения к другому. Пример изменений эффективности моделей со временем приведен на рисунке 1, ЧЗВ 9.1, и демонстрирует происходящие, хотя и скромные, улучшения. Интересно отметить, что как наименее совершенные, так и лучшие модели демонстрируют улучшение, и что это улучшение происходит вместе с увеличением сложности моделей и исключением искусственных корректировок к сопряжению атмосферы и океана (так называемая «корректировка потока»). Некоторые причины такого улучшения состоят в улучшенном понимании различных климатических процессов и лучшего представления этих процессов в климатических моделях. Улучшениям способствуют также более комплексные наблюдения Земли.

Да, действительно, климатические модели становятся лучше и это можно продемонстрировать в помощью количественных критериев эффективности, основанных на исторических наблюдениях. Хотя проекции будущего климата не могут быть оценены непосредственно, климатические модели основаны, по большей части, на проверяемых физических принципах и способны воспроизвести многие важные аспекты прошлой реакции на внешнее воздействие. Этим они создают научно-обоснованное представление о реакции климата на различные сценарии антропогенного воздействия.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 10.1 | Климат всегда меняется. Как мы определяем причины наблюдаемых изменений?

Причины наблюдаемых долговременных изменений климата (во временных масштабах более десятилетия) оцениваются путем определения того, присутствуют ли предполагаемые «отпечатки» различных причин изменения климата в рядах исторических данных. Такие отпечатки выявляются по данным компьютерного моделирования различных режимов климата, вызванных отдельными видами климатического воздействия. Во временных масштабах во многие десятилетия эти виды воздействия включают такие процессы, как увеличение концентрации парниковых газов или изменение солнечной яркости. Путем сравнения смоделированных режимов «отпечатков» с наблюдаемыми изменениями климата можно определить, объясняются ли наблюдаемые изменения в большей степени такими режимами «отпечатков» или естественной изменчивостью, которая имеет место независимо от какого-либо воздействия.

Отпечаток вызванного антропогенными факторами увеличения концентрации парникового газа явно проявляется в характере наблюдавшегося в XX веке изменения климата. Наблюдавшееся изменение не может быть объяснено отпечатками различных видов естественного воздействия или естественной изменчивостью, полученной при помощи климатических моделей. Таким образом, исследования по выявлению причин изменения климата поддерживают вывод о том, что «весьма вероятно, что деятельность человека была причиной более половины наблюдаемого увеличения средней глобальной приземной температуры с 1951 г. по 2010 г.».

Климат Земли постоянно меняется и это может происходить по многим причинам. Для выявления основных причин наблюдаемых изменений необходимо прежде всего убедиться в том, что наблюдаемое изменение климата отличается от других колебаний, которые происходят без какого-либо воздействия. Изменчивость климата без внешнего воздействия, называемая внутренней изменчивостью, является следствием процессов в пределах климатической системы. Крупномасштабная океанская изменчивость, такая как Эль-Ниньо - Южное колебание (ЭНЮК) в Тихом океане, представляет собой доминирующий источник внутренней изменчивости климата в десятилетнем-столетнем временных масштабах.

Изменение климата может также быть результатом естественного воздействия, внешнего по отношению к климатической системе, такого как вулканические извержения или изменения яркости свечения Солнца. Такие виды воздействия ответственны за огромные изменения климата, которые четко фиксируются в геологических данных. Антропогенные воздействия включают в себя выбросы парниковых газов или загрязнение атмосферными частицами. Любое из этих воздействий - естественное или антропогенное, может влиять на внутреннюю изменчивость, а также вызывать изменение среднего климата. Исследования по установлению причин изменения климата пытаются определить причины выявленного изменения наблюдаемого климата. Нам известно, что в прошлом столетии средняя глобальная температура увеличилась, так что если наблюдаемое изменение является вынужденным, то главное воздействие должно быть именно тем, которое вызывает потепление, а не похолодание.

Исследования по выявлению причин изменения прошлого климата проводятся с помощью контролируемых экспериментов с климатическими моделями. Модельные имитации реакций на определенные виды климатического воздействия часто именуются отпечатками этих воздействий. Климатическая модель должна надежно воспроизводить отпечатки пространственных структур, обусловленных отдельными видами воздействия, а также структуры, связанные с невынужденной внутренней изменчивостью, чтобы сделать осмысленное заключение о причинах изменения климата. Ни одна модель не может идеально воспроизвести все особенности климата, но многие подробные исследования показывают, что моделирование с помощью современных моделей в самом деле достаточно надежно для проведения оценок по установлению причин изменения климата.

Рисунок 1, ЧЗВ 10.1, иллюстрирует часть оценки изменения глобальной температуры в приземном слое в конце XX века с использованием метода отпечатков. Наблюдаемое изменение во второй половине XX века, показанное черной линией в левой части рисунка, превышает ожидаемое изменение, возникающее только за счет внутренней изменчивости. Модельные расчеты с использованием только естественных воздействий (желтые и голубые линии в верхней левой части рисунка) не воспроизводит глобальное потепление в приземном слое, причем пространственная структура поля изменения температуры (в верхней правой части рисунка) полностью отличаются от наблюдавшейся пространственной структуры поля изменения температуры (справа в средней части рисунка). Модельные расчеты, использующие как естественные, так и антропогенные воздействия, обеспечивает гораздо лучшее воспроизведение скорости изменения (слева внизу) и пространственной структуры (справа внизу) наблюдаемого изменения приземной температуры.

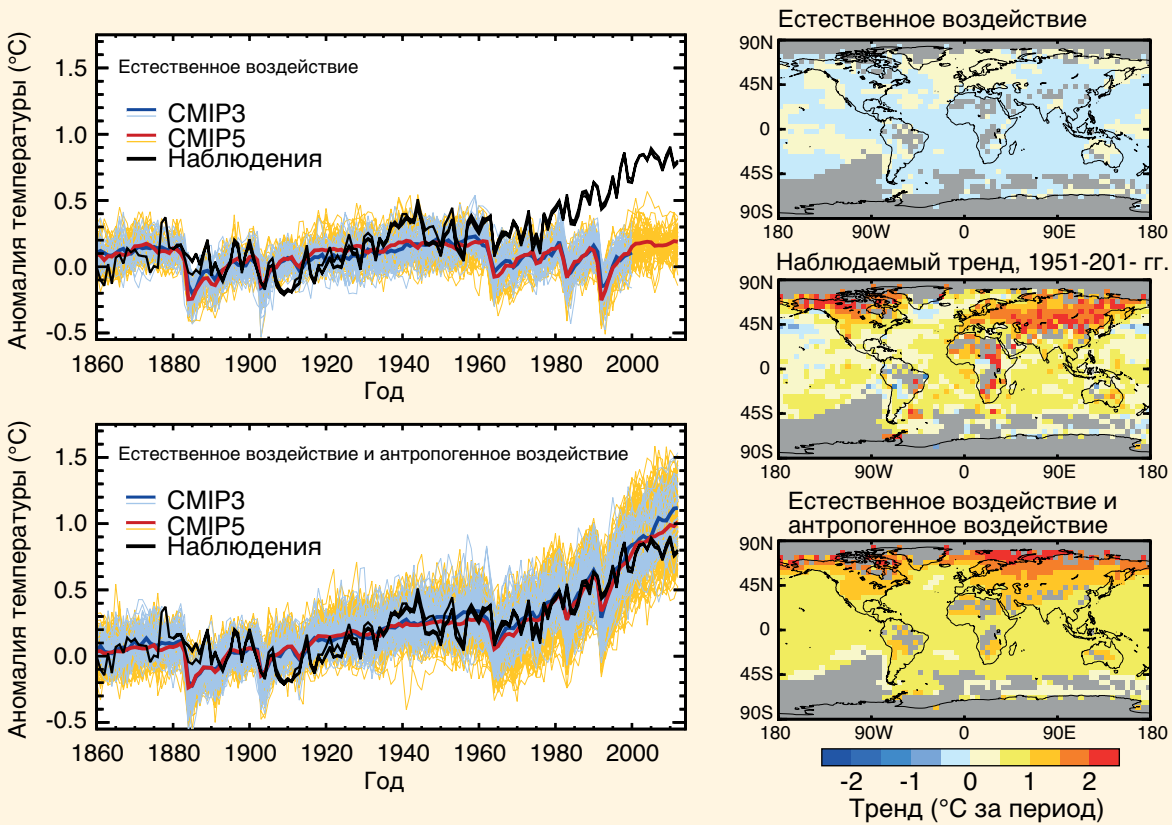
Обе левые части рисунка показывают, что компьютерные модели воспроизводят вызванное естественным воздействием похолодание в приземном слое, наблюдавшееся в течение одного или двух лет после крупных извержений вулканов, таких, как произошедшие в 1982 г. и 1991 г. Модельные расчеты при естественном воздействии воспроизводят короткоживущие температурные изменения, возникающие вслед за извержениями, но только моделирование с суммарным естественным и антропогенным воздействием воспроизводит наблюдаемую долговременную тенденцию потепления.

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 10.1 (продолжение)

При более полной оценке причин изменения климата будет исследована температура над земной поверхностью и, возможно, другие климатические переменные в дополнение к результатам для приземной температуры, показанным на рисунке 1, ЧЗВ 10.1. Отпечатки, связанные с отдельными видами воздействия, гораздо легче разделить в случае, если при оценке рассматривается большее количество переменных.

В целом, рисунок 1, ЧЗВ 10.1, показывает, что пространственная структура поля наблюдаемого изменения температуры существенно отличается от структуры поля реакции исключительно на естественные виды воздействия. Реакция моделей на все виды воздействия, включая антропогенное, указывает на хорошее соответствие наблюдаемым изменениям у земной поверхности. Невозможно правильно смоделировать наблюдаемый климат без учета отклика на антропогенные виды воздействия, включая парниковые газы, стратосферный озон и аэрозоли. Естественные причины изменения климатической системы продолжают действовать, но тренды температуры последнего времени в большой мере следует относить на счет антропогенного воздействия.



ЧЗВ 10.1, рисунок 1 | (Слева) Временные ряды изменения глобальной и среднегодовой приземной температуры с 1860 г. до 2010 г. Слева сверху представлены результаты расчетов по двум ансамблям климатических моделей, учитывающих только естественные воздействия (показаны тонкими голубыми и желтыми линиями); средние по ансамблю изменения температуры показаны жирными голубыми и желтыми линиями. Три разные оценки по данным наблюдений показаны черными линиями. Слева внизу представлены результаты расчетов по тем же моделям, но с учетом как естественного воздействия, так и антропогенных изменений концентраций парниковых газов и аэрозолей. (Справа) Пространственное распределение локальных трендов приземной температуры воздуха с 1951 г. по 2010 г. Вверху приведено пространственное распределение трендов по большому ансамблю модельных расчетов, полученных на этапе 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP5), с учетом только естественных воздействий. Внизу приведены тренды, основанные на результатах соответствующего ансамбля модельных расчетов при естественных + антропогенных видах воздействия. В середине приведено пространственное распределение наблюдаемых трендов по версии 4 сеточного массива данных о приземной температуре (HadCRUT4) Отдела климатических исследований Центра Хэдли для этого периода.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 10.2 | Когда антропогенные воздействия на климат станут очевидными в местных масштабах?

На суше в некоторых тропических регионах локальное антропогенное потепление уже становится очевидным, особенно в теплую часть года. Потепление, первоначально в летний период, должно стать очевидным в средних широтах в течение следующих нескольких десятилетий. Ожидается, что этот тренд проявится там позднее, особенно зимой, поскольку естественная изменчивость климата усиливается по мере удаления от экватора и в холодный сезон. Тренды температуры, уже выявленные во многих регионах, связываются с влиянием деятельности человека. Чувствительные к температуре климатические переменные, такие как лед в арктических морях, также демонстрируют тренды, которые можно отнести на счет влияния деятельности человека.

В целом, тренды потепления, связанные с глобальным изменением, более очевидны в средних показателях глобальной температуры, чем во временных рядах локальной температуры (термин «локальный» относится в данном случае, в основном, к отдельным местам или к средним значениям по небольшим районам). Это обусловлено тем, что большая часть изменчивости локального климата исключается из глобального среднего при осреднении. Считается, что тренды повышения приземной температуры на протяжении многих десятилетий, обнаруженные во многих регионах, находятся вне интервала значений трендов, которые можно было бы ожидать за счет естественной внутренней изменчивости климатической системы, но такие тренды станут очевидными только тогда, когда местный средний климат проявится на фоне «шума» межгодовой изменчивости. Как быстро это произойдет зависит как от величины тренда повышения приземной температуры, так и от степени локальной изменчивости. Тренды повышения приземной температуры в будущем не могут быть точно предсказаны, особенно в локальных масштабах, так что время будущего проявления тренда потепления не может быть точно оценено.

В некоторых тропических регионах тренды повышения температуры уже проявились на фоне локальной изменчивости (ЧЗВ 10.2, рисунок 1). Это быстрее происходит в тропиках, поскольку изменчивость температуры там меньше, чем в других частях земного шара. Согласно проекциям, потепления может не произойти в средних широтах вплоть до середины XXI века даже при больших трендах повышения температуры, поскольку локальная изменчивость температуры там существенно больше, чем в тропиках. В сезонном масштабе локальная изменчивость температуры характеризуется менее значительным трендом летом по сравнению с зимой. Поэтому потепление имеет тенденцию проявляться сначала в теплую часть года, даже в регионах, где тренд повышения приземной температуры зимой больше, как в центральной части Евразии (ЧЗВ 10.2, рисунок 1).

Другие переменные, помимо приземной температуры, включая некоторые океанические регионы, также демонстрируют темпы долговременного изменения, отличные от естественной изменчивости. Например, площадь льда в арктических морях очень быстро сокращается и уже демонстрирует влияние человека. С другой стороны, выявить локальные тренды количества осадков очень сложно, поскольку в большинстве мест изменчивость количества осадков весьма велика. Вероятность рекордных теплых летних температур повысилась в значительной части Северного полушария. Согласно проекциям, высокие температуры, в настоящее время считающиеся экстремальными, станут ближе к нормальным в последующие десятилетия. Вероятность других экстремальных явлений, включая сильные морозы, уменьшилась.

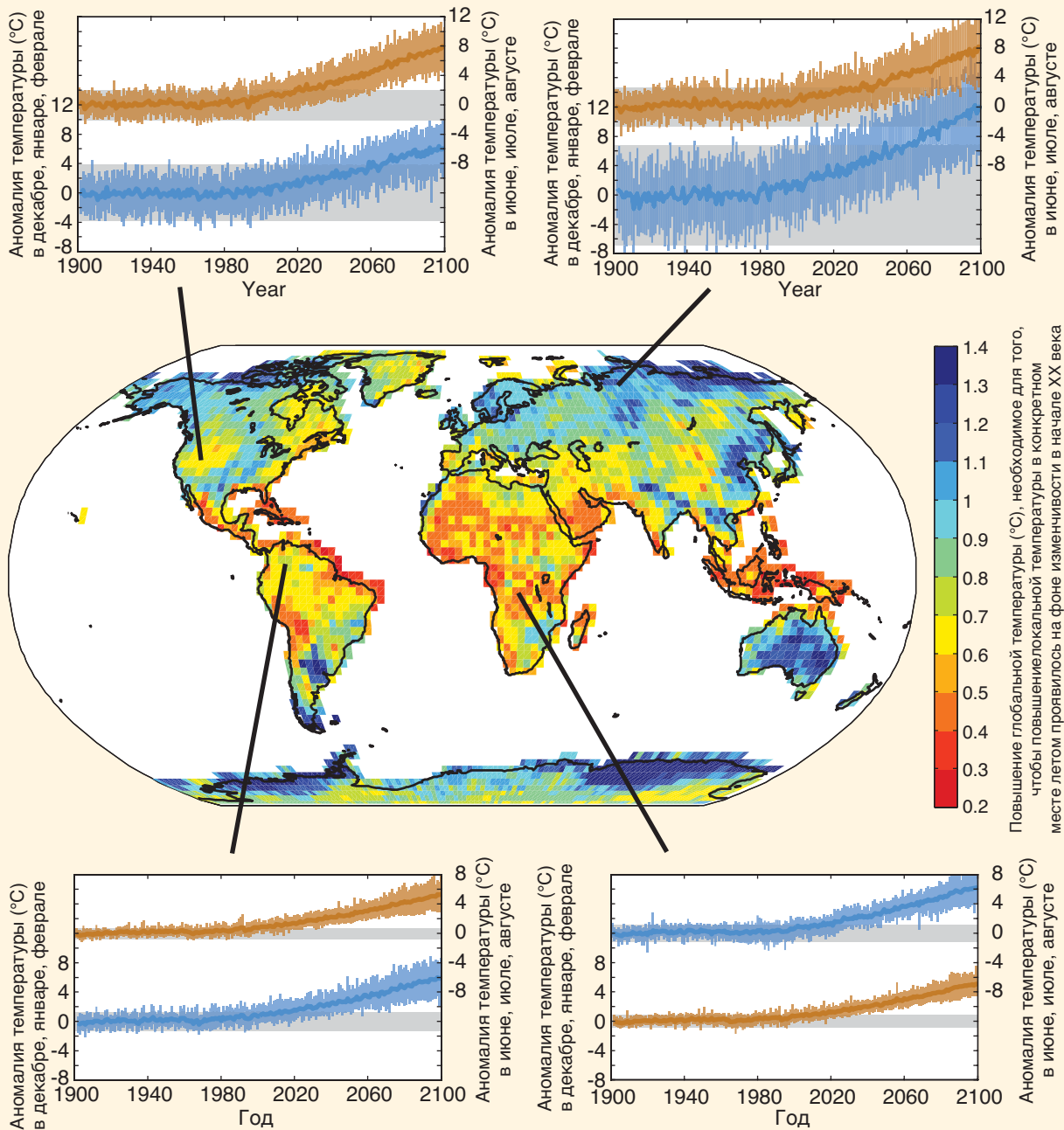
При существующем климате отдельные экстремальные погодные явления не могут быть однозначно отнесены на счет изменения климата, поскольку такие явления могут случаться и при неизменном климате. Однако вероятность возникновения таких явлений в конкретном месте существенно изменилась. Как следует из оценок, антропогенные увеличения концентрации парниковых газов вносят существенный вклад в повышение вероятности некоторых волн тепла. Модельные исследования климата также говорят о том, что увеличение объема парниковых газов внесло вклад в наблюдаемое увеличение числа случаев сильных осадков, наблюдаемое в некоторых частях Северного полушария. Однако вероятность многих других экстремальных явлений погоды может существенно не измениться. Таким образом, неправильно приписывать каждый новый погодный рекорд изменению климата.

Время проявления фигурирующих в проекциях трендов потепления также зависит от изменчивости локального климата, при которой температуры могут временно повышаться или уменьшаться. Помимо этого, кривые в проекциях локальной температуры, показанные на рисунке 1, ЧЗВ 10.2, основаны на расчетах по нескольким климатическим моделям при одинаковом предполагаемом в будущем сценарии выбросов. Разные темпы накопления парниковых газов в атмосфере вызовут разные тренды потепления, так что диапазон разброса результатов модельных проекций потепления (цветное затенение на рисунке 1, ЧЗВ 10.2) был бы шире, если бы рисунок включал диапазон разброса сценариев выбросов парниковых газов. Увеличение, необходимое для того, чтобы изменение летних температур проявилось на фоне локальной изменчивости в XX веке (независимо от темпов изменения) показано на карте в центре рисунка 1, ЧЗВ 10.2.

Полный ответ на вопрос о том, когда влияние человека на местный климат станет очевидным, зависит от степени доказанности, которая считается достаточной для того, чтобы сделать что-либо «очевидным». Наиболее убедительные научные данные в подтверждение эффекта изменения климата в локальных масштабах получены из анализа глобальной картины и из множества фактов о климатической системе, связывающих многие наблюдаемые изменения с влиянием человека.

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 10.2 (продолжение)



ЧЗВ 10.2, рисунок 1 | Временные ряды изменения температуры, согласно проекциям, в четырех репрезентативных местах летом (красные кривые, характеризующие июнь, июль и август для мест в тропиках и Северном полушарии, или декабрь, январь и февраль - в Южном полушарии) и зимой (голубые кривые). Для каждого временного ряда приведено облако изменений, согласно проекциям (розовый цвет для местного теплого сезона, голубой - для местного холодного сезона), полученным посредством 24 расчетов по различным моделям на основе естественной локальной изменчивости (серое облако), выведенной по моделям с использованием условий в начале XX века. Сигнал потепления первоначально появляется в тропиках в летний период. Карта в центре показывает повышение глобальной температуры (°C), необходимое для того, чтобы повышение локальной температуры летом проявилось на фоне облака изменчивости в начале XX века. Необходимо отметить, что теплые цвета обозначают самое малое повышение температуры, следовательно, самое раннее время проявления. Все расчеты основаны на результатах моделирования по глобальным климатическим моделям в рамках этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP5) при воздействии, основанном на сценариях выбросов согласно версии 8.5 репрезентативной траектории концентраций (РТК8.5). Ширина облаков проекций изменений и естественной изменчивости определяется как ± 2 среднего квадратического отклонения. (Адаптировано из Mahlstein et al., 2011, с внесенными обновлениями).

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 11.1 | Если вы не можете предсказать погоду на следующий месяц, то как вы можете предсказывать климат на предстоящее десятилетие?

Хотя погода и климат связаны друг с другом, в действительности они представляют собой разные вещи. Погода определяется как состояние атмосферы в данное время и данном месте и может меняться из часа в час и изо дня в день. С другой стороны, под климатом обычно имеют в виду статистику погодных условий за десятилетие и более.

Возможность предсказания будущего климата без необходимости точного предсказания погоды более очевидна, чем это может показаться вначале. Например, в конце весны можно точно предсказать, что средняя температура воздуха в предстоящее лето в Мельбурне (например) будет, весьма вероятно, выше, чем средняя температура за прошедшую весну, даже если ежедневная погода в предстоящее лето не может быть точно предсказана с заблаговременностью более недели или около того. Этот простой пример показывает, что имеются факторы (в данном случае сезонный цикл солнечной радиации, достигающей Южного полушария), которые определяют способность предсказания изменения климата в предстоящий период, которая не зависит от точности предсказания погоды за тот же период.

Статистика погодных условий, используемая для определения климата, включает долгосрочные средние температуры воздуха и количества осадков, а также статистику их изменчивости, такую, как средние квадратические отклонения межгодовой изменчивости количества осадков от долгосрочного среднего или повторяемость числа дней с температурой ниже 5 °С. Средние значения климатических переменных за длительные периоды времени называются климатическими средними. Они могут относиться к отдельным месяцам, сезонам или годам в целом. Предсказание климата будет отвечать на вопрос вроде: «Насколько вероятно, что средняя температура наступающего лета будет выше, чем многолетнее среднее для прошлых летних сезонов?» или: «Насколько вероятно, что следующее десятилетие будет теплее предыдущих десятилетий?». Более конкретно, предсказание климата может дать ответ на вопрос: «Насколько вероятно, что температура (в Китае, например), осредненная за следующие десять лет, превзойдет температуру в Китае, осредненную за прошедшие 30 лет?» Предсказания климата не предоставляют прогнозов детальной ежедневной эволюции будущей погоды. Вместо этого, они сообщают вероятности долгосрочных изменений в статистике климатических переменных в будущем.

С другой стороны, прогнозы погоды дают предсказания ежедневной погоды для конкретного времени в будущем. Они помогают ответить на вопросы вроде: «Будет ли завтра дождь?». Иногда прогноз погоды представляется в показателях вероятности. Например, прогноз погоды может сообщать, что: «Вероятность дождя в Апия завтра составляет 75 %».

Для того, чтобы подготовить точные предсказания, прогнозистам требуется подробная информация о текущем состоянии атмосферы. Хаотичная природа атмосферы означает, что даже самая малая ошибка в описании «начальных условий», как правило, ведет к неточным прогнозам на период более недели или около того. Это так называемый «эффект бабочки».

Климатологи не пытаются подробно предсказывать будущую динамику погоды в предстоящие сезоны, годы или десятилетия, и не претендуют на это. С другой стороны, имеются твердые научные основы для того, чтобы полагать, что некоторые аспекты климата могут быть предсказаны, хотя и неточно, несмотря на эффект бабочки. Например, рост концентраций долгоживущих парниковых газов в атмосфере ведет к повышению приземной температуры в будущие десятилетия. Таким образом, информация о прошлом может помочь, и действительно помогает, предсказывать будущий климат.

Некоторые виды возникающей естественным путем так называемой «внутренней» изменчивости могут, по крайней мере теоретически, расширить возможности для предсказания будущего климата. Если такая изменчивость включает в себя или создает обширные, долгоживущие аномалии температуры верхних слоев океана, то это вызовет изменения в соприкасающимся с ними слое атмосферы, как локальные, так и удаленные.

Явление Эль-Ниньо - Южное колебание является, по-видимому, наиболее известным примером этого вида внутренней изменчивости. Изменчивость, связанная с Эль-Ниньо - Южным колебанием, становится частично предсказуемой. Эффект бабочки имеет место, но требуется более продолжительное время для того, что серьезно повлиять на некоторые виды изменчивости, связанной с явлением Эль-Ниньо - Южное колебание.

Это используется метеорологическими службами и другими учреждениями. Они разработали системы сезонного-межгодового предсказания, которые позволяют им прогнозировать сезонные климатические аномалии с убедительной прогностической точностью. Точность заметно изменяется от места к месту и от переменной к переменной. Точность имеет тенденцию уменьшаться с увеличением периода заблаговременности прогноза, а в некоторых местах она вообще отсутствует. «Точность» используется здесь в ее техническом смысле: это мера того, насколько точность предсказания превышает точность некоторого типичного простого метода предсказания, как, например, предположение о том, что наблюдавшиеся в последнее время аномалии будут существовать и в предсказываемый период.

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 11.1 (продолжение)

Системы сезонного-межгодового и десятилетнего предсказания погоды во многом сходны (например, все они включают в себя одинаковые математические уравнения для атмосферы, все они требуют задания начальных условий для быстрого запуска системы предсказаний, и все они подвержены ограничениям точности прогнозирования, обусловленным эффектом бабочки). Однако предсказание на десятилетие, в отличие от сезонного-межгодового предсказания погоды, все еще находится на ранней стадии развития. В то же время системы предсказания на десятилетие показывают определенную степень точности в *ретроспективном* прогнозировании приземной температуры на большей части земного шара на период, по меньшей мере, в девять лет. «Ретроспективное» означает прогнозирование прошлого явления, при котором в используемую систему предсказания вводятся только данные наблюдений, проведенных до наступления данного явления. Основная часть этой точности, как полагают, происходит из *внешнего воздействия*. «Внешнее воздействие» - это термин, используемый климатологами для обозначения фактора воздействия, существующего вне климатической системы и вызывающего изменение в ней. Это включает увеличения концентрации долгоживущих парниковых газов.

Теория показывает, что точность предсказания количества осадков за десятилетие должна быть меньше точности предсказания приземной температуры за десятилетие, и эффективность ретроспективного прогнозирования оправдывает это ожидание.

Современные исследования направлены на совершенствование систем прогнозирования на десятилетие и понимание причин, определяющих любую их точность. Ключевым вопросом является понимание того, как дополнительная информация о внутренней изменчивости фактически преобразуется в повышение точности прогноза. Хотя, как ожидается, системы предсказания улучшатся в ближайшие десятилетия, хаотичная природа климатической системы и связанный с этим эффект бабочки всегда будут ставить неизбежные пределы для точности прогнозирования. Существуют и другие источники неопределенности. Например, на климат могут влиять извержения вулканов, но их время и мощность предсказать невозможно, и будущие извержения представляют собой один из нескольких источников неопределенности. Кроме того, серьезную проблему создает малая длина периода с достаточным количеством океанографических данных, необходимых для инициализации и оценки предсказаний на десятилетие.

Наконец, следует иметь в виду, что системы прогноза на десятилетие предназначены для использования факторов предсказуемости связанных как с внешним воздействием, так и имеющих внутреннее происхождение. Климатологи проводят различие между предсказаниями на десятилетие и проекциями на десятилетие. В проекциях используется только возможность предсказания, основанная на внешнем воздействии. В то время как предыдущие доклады об оценке МГЭИК были сконцентрированы исключительно на проекциях, в этом докладе также оцениваются исследования в области предсказаний на десятилетие и их научная основа.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 11.2 | Как извержения вулканов влияют на климат и нашу способность предсказывать климат?

Крупные извержения вулканов влияют на климат путем выброса газообразной двуокиси серы в верхнюю атмосферу (также именуемую стратосферой), которая реагирует с водой и образует облака, состоящие из капель серной кислоты. Эти облака отражают солнечный свет обратно в космос, предотвращая его попадание на поверхность Земли и охлаждая поверхность вместе с нижней атмосферой. Эти сернокислотные облака в верхней атмосфере также поглощают энергию Солнца, Земли и нижней атмосферы, что нагревает верхнюю атмосферу (см. ЧЗВ 11.2, рисунок 1). Что касается охлаждения земной поверхности, то, например, извержение вулкана Пинатубо в 1991 г. на Филиппинах привело к выбросу в стратосферу около 20 миллионов тонн двуокиси серы (SO_2), охладив Землю почти на $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ в течение приблизительно года. В глобальном масштабе извержения вулканов также уменьшают количество осадков, поскольку уменьшение приходящей на поверхность коротковолновой радиации компенсируется уменьшением нагрева за счет скрытого тепла (т.е., испарения и, следовательно, количества осадков).

В целях предсказания климата можно ожидать извержения, вызывающего значительное глобальное охлаждение поверхности и нагревание верхней атмосферы в течение следующего года или около того. Проблема состоит в том, что, хотя можно выявить вулкан, ставший более активным, невозможно предсказать точное время извержения или количество SO_2 , выброшенного в верхнюю атмосферу, и то как она могла бы распределиться в пространстве. Это представляет собой источник неопределенности в предсказании климата.

Крупные извержения вулканов образуют множество частиц, именуемых пеплом или тефрой. Однако эти частицы быстро, в течение нескольких дней или недель, выпадают из атмосферы, так что они не влияют на глобальный климат. Например, извержение вулкана Сент-Хеленс повлияло на приземную температуру на северо-западе США в течение нескольких дней, но, поскольку в стратосферу было выброшено немного SO_2 , она не оказала никакого заметного влияния на глобальный климат. Если при крупных извержениях в высоких широтах произойдут выбросы серы в стратосферу, то они повлияют только на то полушарие, где произошли эти извержения, и влияние будет длиться не более года, поскольку возникшее стратосферное облако имеет время жизни всего в несколько месяцев.

Вулканы в тропиках и субтропиках в большей степени охлаждают поверхность земного шара или тропосферы. Это связано с тем, что возникшее в верхней атмосфере сернокислотное облако сохраняется в течение одного-двух лет и способно покрыть большую часть земного шара. Однако их региональные климатические последствия трудно предсказать, поскольку рассеяние стратосферного сульфатного аэрозоля сильно зависит ветра в атмосфере в момент извержения. Более того, эффект охлаждения поверхности, как правило, неоднороден: поскольку континенты охлаждаются сильнее океана, летний муссон может ослабеть и уменьшить дожди в Азии и Африке. Реакция климата еще более осложняется тем, что облака в верхней атмосфере, образующиеся при извержении, также поглощают коротковолновую радиацию и тепло от Земли, что вызывает более интенсивное потепление в тропиках, чем в высоких широтах.

Крупнейшие извержения вулканов за последние 250 лет способствовали развитию научных исследований. После извержения вулкана Лаки в Исландии в 1783 г. в Европе были зарегистрированы рекордно высокие летние температуры, за которыми последовала очень холодная зима. Два сильных извержения, одно неуставленного вулкана в 1809 г., и второе - вулкана Тамбора в 1815 г. вызвали в 1816 г. «год без лета». Трудности для сельского хозяйства в Европе и США привели в этот год к недостатку продуктов питания, голоду и бунтам.

(продолжение на следующей странице)



ЧЗВ 11.2, рисунок 1 | Схематическое представление влияния вулканов в тропиках и субтропиках на температуры в верхней атмосфере (стратосфере) и нижней атмосфере (тропосфере).

ЧЗВ 11.2 (продолжение)

Самое крупное за более, чем 50 лет извержение вулкана Агунг в 1963 г. стало предметом многих современных исследований, включая анализ наблюдений и расчеты по климатическим моделям. Два последовательных извержения вулканов Эль-Чичон в 1982 г. и Пинатубо в 1991 г. дали толчок к выполнению работы, которая привела к современному пониманию влияния извержений вулканов на климат.

Вулканические облака сохраняются в стратосфере всего несколько лет, так что их воздействие на климат также кратковременно. Но воздействия последовательных сильных извержений могут продолжаться дольше. Например, в конце XIII века произошли четыре крупных извержения, по одному в каждые 10 лет. Первое, в 1258 г., было самым сильным за 1 000 лет. Эти последовательные извержения охладили Северную Атлантику и арктический морской лед. Другим представляющим интерес периодом являются три крупных и несколько менее сильных извержений вулканов в 1963 - 1991 гг. (см. главу 8 о том, как эти извержения повлияли на состав атмосферы и ослабили коротковолновую радиацию на поверхности).

Вулканологи могут определить, когда вулкан становится более активным, но они не могут предсказать будет ли вулкан извергаться, и, если да, то какое количество серы он может выбросить в стратосферу. Тем не менее, вулканы влияют на возможность предсказания климата в трех определенных направлениях. Во-первых, если интенсивное извержение приведет к выбросу существенных объемов двуокиси серы в стратосферу, этот эффект может быть включен в предсказание климата. Имеются существенные трудности и источники неопределенности, такие как сбор надежных данных наблюдений вулканического облака и расчеты его движения и изменения в течение времени жизни. Однако благодаря опыту наблюдений и успешному моделированию последних извержений некоторые эффекты крупных извержений могут быть включены в прогнозы.

Второй эффект состоит в том, что извержения вулканов представляют собой потенциальный источник неопределенности в наших предсказаниях. Извержения невозможно предсказывать заранее, но они будут происходить, создавая кратковременные воздействия на климат как в локальном, так и глобальном масштабах. В принципе, эту потенциальную неопределенность можно учесть путем включения случайных извержений или извержений, основанных на некотором сценарии, в наши краткосрочные ансамблевые прогнозы климата. Эта научная область требует дополнительных исследований. Проекция будущего в этом докладе не включает будущих извержений вулканов.

В третьих, для проверки точности воспроизведения моделируемого климата можно использовать исторические данные о климате вместе с оценками наблюдаемых сульфатных аэрозолей. Хотя реакция климата на взрывные извержения вулканов представляет собой полезную аналогию с некоторыми другими видами климатического воздействия, имеются ограничения. Например, успешное моделирование влияние отдельного извержения может помочь в валидации моделей, используемых для сезонных и межгодовых прогнозов лет. Но не все механизмы глобального потепления в течение следующего столетия могут быть таким образом валидированы, поскольку вовлекаются долгосрочные обратные связи с океаном, которые имеют больший временной масштаб, чем время реакции на отдельные извержения вулканов.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 12.1 Почему используется так много моделей и сценариев для проекции изменения климата?

Будущий климат частично определяется величиной будущих выбросов парниковых газов, аэрозолей и других видов естественного и антропогенного воздействия. Эти виды воздействия внешние по отношению к климатической системе, но изменяют ее поведение. Будущий климат формируется реакцией Земли на это воздействие вместе с внутренней изменчивостью, присущей климатической системе. Диапазон предположений о величине и темпах будущих выбросов помогает климатологам разрабатывать различные сценарии выбросов, на которых основаны проекции по климатическим моделям. В то же время, различные модели представляют альтернативные расчетные реализации реакции Земли на эти виды воздействия и естественную климатическую изменчивость. В совокупности, ансамбли моделей, описывающие реакцию на набор различных сценариев, позволяют подготовить диапазон возможных будущих состояний и помогают нам понять их неопределенности.

Предсказание социально-экономического развития является, пожалуй, еще более сложным, чем прогнозирование эволюции физических систем. Оно включает предсказание поведения людей, выборы политики, технологические достижения, международную конкуренцию и сотрудничество. Традиционный подход состоит в использовании сценариев возможного будущего социально-экономического развития, из которого определяются будущие выбросы парниковых газов и другие факторы воздействия. Как правило, невозможно оценить степень правдоподобия индивидуальных сценариев воздействия. Вместо этого используется набор альтернатив для определения диапазона возможного. Результаты, вытекающие из различных сценариев воздействия, предоставляют политикам альтернативы и диапазон различных возможных сценариев будущего развития.

Внутренние колебания в климатической системе спонтанно генерируются за счет взаимодействий между компонентами, такими как атмосфера и океан. В случае изменения климата в ближайшей перспективе, они могут затмить влияние внешних возмущений, таких, как увеличения объемов парникового газа (см. главу 11). Однако, для более длительных периодов времени предполагается, что вместо этого будут доминировать внешние воздействия. Проекция на основе расчетов по климатическим моделям предсказывают, что по прошествии нескольких десятилетий различные сценарии будущей концентрации антропогенных парниковых газов и других факторов воздействия и реакция на них климатической системы различным образом повлияют на изменение средней глобальной температуры (ЧЗВ 12.1, рисунок 1, слева). Таким образом, оценка последствий этих различных сценариев и реакций имеет первостепенное значение, особенно при рассмотрении возможных политических решений.

Климатические модели основываются на физических принципах, управляющих нашей климатической системой, и эмпирическом знании, и описывают сложные, взаимодействующие процессы, необходимые для моделирования климата и изменения климата, как прошлого, так и будущего. Аналогии на основе прошлых наблюдений или экстраполяции по последним трендам представляют собой неадекватные стратегии для создания проекций, поскольку будущее не обязательно будет простым продолжением того, что мы наблюдали до настоящего времени.

Хотя можно написать уравнения движения жидкости, которые определяют поведение атмосферы и океана, их невозможно решить без использования численных алгоритмов при компьютерном моделировании, подобно тому, как инжиниринг воздушных судов основывается на численных модельных расчетах уравнений аналогичных типов. Также, многие физические, биологические и химические процессы малого масштаба, такие как облачные процессы, не могут быть описаны с помощью этих уравнений либо из-за того, что у нас нет вычислительных возможностей для описания системы с достаточно подробным пространственным разрешением для непосредственного моделирования этих процессов, либо из-за того, что пока мы располагаем лишь частичным научным пониманием механизмов, управляющих этими процессами. Вместо этого их необходимо аппроксимировать в климатических моделях с помощью так называемых параметризаций, посредством которых устанавливаются математическое соотношение между непосредственно смоделированными и аппроксимированными количественными значениями, что часто делается на основе данных о наблюдаемом поведении.

При существующих ограничениях в вычислительных возможностях и данных наблюдений имеется несколько альтернативных и в равной степени приемлемых численных представлений, решений и аппроксимаций для моделирования климатической системы. Это разнообразие считается здоровым аспектом сообщества специалистов по моделированию климата и его итогом является диапазон проекций возможного изменения климата в глобальных и региональных масштабах. Такой диапазон создает основу для оценки неопределенности в проекциях, но поскольку количество моделей сравнительно невелико, а предоставление результатов модельных вычислений в общедоступные архивы является добровольным, выборка возможных будущих сценариев не является ни систематичной, ни всесторонней. Кроме того, сохраняются несовершенства, которые являются общими для всех моделей; разные модели имеют разные сильные и слабые стороны; пока непонятно, какими аспектами качества моделирования, которые можно оценить по наблюдениям, следует руководствоваться при нашей оценке будущих расчетов по моделям.

(продолжение на следующей странице)

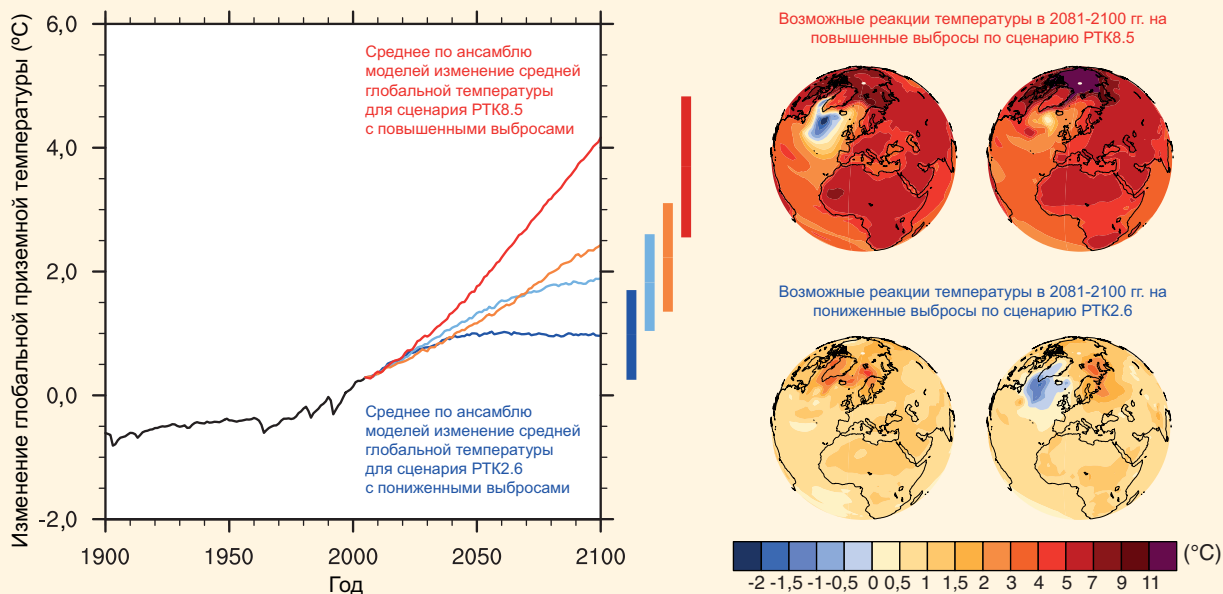
ЧЗВ 12.1 (продолжение)

Для проекций различных задач обычно используются модели различной сложности. В случаях, когда необходимы модельные расчеты на большие, занимающие многие столетия промежутки времени, или когда необходимо получить много реализаций, может использоваться модель с большей скоростью вычисления, но с меньшим пространственным разрешением, или модель с упрощенным описанием некоторых климатических процессов. Упрощенные модели могут адекватно воспроизводить усредненные по крупному масштабу значения характеристик, таких как средняя глобальная температура, но более мелкие детали, такие как региональные осадки, могут быть воспроизведены только с помощью сложных моделей.

Координация модельных экспериментов и результатов расчетов группами, такими как Проект по сравнению сопряженных моделей (CMIP), Всемирная программа исследований климата и ее Рабочая группа по климатическим моделям, демонстрирует, что научное сообщество наращивает усилия для оценки возможности моделей воспроизводить прошлый и текущий климат и сопоставления проекций будущего изменения климата. «Многомодельный» подход является в настоящее время стандартной методологией, используемой сообществом климатологов для оценки проекций отдельной климатической переменной.

На рисунке 1, ЧЗВ 12.1, (справа) показана реакция температуры к концу XXI века по расчетам по двум иллюстративным моделям для сценариев самой высокой и самой низкой РТК. Модели согласуются в части крупномасштабных структур в полях потепления у поверхности, например в том, что суша будет нагреваться быстрее океана и что потепление в Арктике будет происходить быстрее, чем в тропиках. Но они расходятся в величине глобальной реакции на одинаковый сценарий и в деталях мелкомасштабной, региональной реакции. Степень усиления потепления в Арктике, например, меняется от одной модели к другой, а одна из подгрупп моделей показывает меньшую интенсивность потепления или слабое похолодание в Северной Атлантике в результате ослабления процессов формирования глубинных вод и сдвигов в океанских течениях.

Имеются неизбежные неопределенности в будущих внешних воздействиях и реакции на них климатической системы, которые еще более усложняются внутренней изменчивостью системы. Использование множества сценариев и моделей стало стандартным выбором для их оценки и характеристики, таким образом давая возможность описать широкий диапазон вариантов возможной будущей эволюции климата Земли.



ЧЗВ 12.1, рисунок 1 | Изменение средней глобальной температуры (относительно 1986-2005 гг.), осредненное по всему набору моделей этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP5), для четырех сценариев репрезентативной траектории концентраций (РТК): РТК2.6 (темно-синий цвет), РТК4.5 (светло-синий), РТК6.0 (оранжевый) и РТК8.5 (красный); для этих 4 сценариев использовались результаты 32, 42, 25 и 39 моделей, соответственно. **Вероятные** диапазоны изменения глобальной приземной температуры к концу XXI века показаны вертикальными отрезками. Отметим, что эти диапазоны относятся к разности между двумя средними значениями за 20-летние периоды, 2081-2100 гг. по сравнению с периодом 1986-2005 гг., что соответствует центрам отрезков, располагающимся в точках с меньшими значениями изменений, чем определяемые конечной точкой годовых траекторий. Для сценариев с самой высокой (РТК8.5) и самой низкой (РТК2.6) траекторией по данным двух моделей CMIP5 приведены иллюстративные карты изменения приземной температуры в конце XXI столетия (2081-2100 гг. по сравнению с периодом 1986-2005 гг.). Эти модели выбраны для иллюстрации довольно широкого интервала реакции моделей, но данный набор не является репрезентативным для какой-либо количественной оценки неопределенности реакции моделей.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 12.2 | Как изменится водный цикл Земли?

Сток и накопление воды в климатической системе Земли весьма изменчивы, но к концу текущего столетия ожидаются изменения, превышающие те, которые вызваны естественной изменчивостью. В более теплом мире возникнет результирующее увеличение количества осадков, испарения с поверхности и транспирации растений. Однако изменения будут существенно различаться от места к месту. В некоторых местах увеличится количество осадков и накопление воды на суше. В других количество воды уменьшится из-за региональной засухливости и потери снежного и ледяного покрова.

Водный цикл состоит из воды, содержащейся на Земле во всех ее фазах, и воды, циркулирующей по климатической системе Земли. В атмосфере вода существует в первую очередь в виде газа (водяного пара), но она также присутствует в форме льда и жидкой воды в облаках. Океан, конечно же, представляет собой жидкую воду, но в полярных регионах океан также частично покрыт льдом. Вода суши в жидкой форме формирует поверхностные воды (такие как озера и реки), почвенную влагу и грунтовые воды. Воды суши в твердом виде встречаются в ледяных щитах, ледниках, снеге и льде на поверхности и в виде многолетней мерзлоты и сезонно-мерзлых грунтов.

В некоторых заявлениях касательно будущего климата иногда говорится, что водный цикл ускорится, но это может ввести в заблуждение, поскольку, строго говоря, предполагает, что влагооборот будет происходить с течением времени все быстрее и быстрее и повсеместно. Действительно, в некоторых частях мира гидрологический цикл интенсифицируется, причем перенос воды будет большим, а движение воды в водоемы и из водоемов более быстрым. Однако другие компоненты климатической системы будут испытывать истощение источников воды и, тем самым, более медленное движение воды. Некоторые водоемы могут даже исчезнуть.

По мере прогрева Земли возникнут некоторые изменения просто в качестве реакции на потепление климата. Эти изменения происходят под влиянием энергии, которую глобальное потепление привносит в климатическую систему. Лед во всех формах будет таять быстрее и станет менее распространенным. Например, согласно некоторым модельным расчетам, проанализированным в этом докладе, лед в арктических морях в летний период исчезнет до середины этого столетия. В атмосфере будет содержаться больше водяного пара и наблюдения и результаты модельных расчетов показывают, что это уже так. К концу XXI века среднее количество водяного пара может увеличиться на величину от 5 до 25 %, в зависимости от количества парниковых газов и радиационно-активных частиц, таких как дым. Вода будет быстрее испаряться с поверхности. Уровень моря повысится за счет расширения при повышении температуры воды в океане, таяния льда на суше и стока образующихся вод в океан (см. ЧЗВ 13.2).

Эти общие изменения подвержены влиянию сложной климатической системы, так что не следует ожидать, что они будут происходить повсеместно и в одинаковом темпе. Например, с изменением климата может измениться циркуляция воды в атмосфере, на суше и в океане, при этом вода будет накапливаться в одних местах и изыматься из других. Изменения могут происходить и в течение года: некоторые сезоны будут становиться более влажными, чем другие. Так, модельные расчеты, оцениваемые в этом докладе, показывают, что зимние осадки в северной Азии могут увеличиться более, чем на 50 %, в то время как летние осадки, согласно проекциям, вряд ли изменятся. Люди также непосредственно вмешиваются в гидрологический цикл путем управления водными ресурсами и изменений в землепользовании. Изменяющееся распределение населения и практик использования воды привнесут дополнительные изменения в гидрологический цикл.

Процессы, связанные с гидрологическим циклом, могут занимать минуты, часы, дни и более того, и пространство от метров до километров и более. Изменчивость на этих масштабах, как правило, выше, чем для температуры, так что изменения климата в части осадков заметить труднее. Несмотря на эту сложность, проекции будущего климата показывают изменения, общие для многих моделей и сценариев воздействия на климат. Об аналогичных изменениях говорилось в ДО4. Взятые вместе, эти результаты дают основание предложить понятный механизм изменения, даже при том, что абсолютные величины изменяются от модели к модели и от одного вида воздействия к другому. Здесь мы сконцентрируем внимание на изменениях на суше, где изменения гидрологического цикла оказывают наибольшее влияние на антропогенные и естественные системы.

Предполагаемые изменения климата, полученные по оцененным в настоящем докладе модельным расчетам (схематически показаны на рисунке 1, ЧЗВ 12.2), в целом включают в себя увеличение осадков в некоторых частях тропиков и в полярных широтах, которое при наиболее экстремальных сценариях выбросов может к концу XXI века превысить 50 %. В противоположность этому, в обширных районах субтропиков могут наблюдаться сокращения в 30 % и более. В тропиках эти изменения вызваны, по видимому, увеличением водяного пара в атмосфере и изменениями в атмосферной циркуляции, которые еще в большей степени концентрируют водяной пар в тропиках и, тем самым, способствуют увеличению количества тропических осадков. В субтропиках эти изменения циркуляции одновременно способствуют уменьшению осадков несмотря на потепление в этих регионах. Поскольку в субтропиках расположено большинство мировых пустынь, такие изменения означают увеличение аридности в уже засушливых районах и возможное расширение площади пустынь.

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 12.2 (продолжение)

Увеличения в высоких широтах вызваны более высокими температурами, которые дают возможность атмосфере содержать больше влаги и, таким образом, больше воды, способной осаждаться. Более теплый климат дает возможность внетропическим циклоническим системам переносить в высокие широты большее количество водяного пара без существенных изменений характерной скорости ветра. Как отмечалось выше, изменения в высоких широтах сильнее выражены в более холодные сезоны.

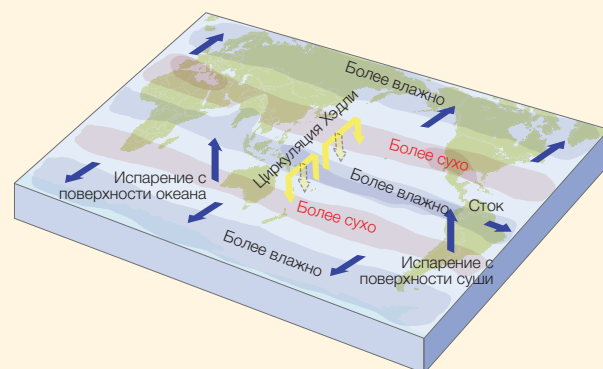
То, становится ли суша более сухой или более влажной, частично зависит от изменения количества осадков, но также и от изменений интенсивности испарения и транспирации растений (совокупно именуемых эвапотранспирацией). Поскольку более теплая атмосфера способна содержать большее количество водяного пара, она, при условии достаточного количества воды на земной поверхности, может вызвать большую эвапотранспирацию. Однако увеличение диоксида углерода в атмосфере ослабляет испарение с растений в атмосферу, частично противодействуя эффекту потепления.

В тропиках повышенная эвапотранспирация противодействует влиянию увеличения осадков на количество почвенной влаги, тогда как в субтропиках имеющееся малое количество влаги позволяет лишь небольшое изменение эвапотранспирации. В высоких широтах, согласно климатическим проекциям, увеличение количества осадков, как правило, перевешивает увеличение эвапотранспирации, формируя увеличенный среднегодовой сток, но неодинаковые изменения в количестве почвенной влаги. Как следует из изменения циркуляции, показанного на рисунке 1, ЧЗВ 12.2, границы областей с высокой и низкой влажностью также могут сдвигаться.

Еще одним осложняющим фактором является характер осадков. Согласно проекциям, основанным на моделях, осадки в виде дождя станут более интенсивными, частично потому, что в атмосфере будет содержаться больше влаги. Так, по модельным расчетам, рассмотренным в настоящем докладе, на большей части суши суточное количество осадков, которое наблюдается в среднем раз в 20 лет, к концу XXI века может выпадать каждые 10 лет или даже чаще. В то же время, проекции также показывают, что, в целом, будет наблюдаться тенденция к уменьшению частоты выпадения осадков. Эти изменения вызывают два, казалось бы, противоречащих друг другу, эффекта: более интенсивные ливни, вызывающие большее число наводнений, и при этом более длительные засушливые периоды между дождями, приводящие к большему числу засух.

В высоких широтах и на больших высотах происходят дальнейшие изменения, вызванные потерями воды на замерзание. Некоторые из них анализируются современным поколением глобальных климатических моделей (ГКМ), а некоторые изменения можно выявить за счет того, что они отражаются на таких объектах, как ледники, которые обычно не анализируются моделями и не включаются в них. При более теплом климате снег начинает накапливаться осенью в более поздние сроки и таять весной в более ранние сроки. Модельные расчеты, рассмотренные в настоящем докладе, показывают, что, в соответствии с проекциями, снежный покров в Северном полушарии в период с марта по апрель уменьшится к концу этого столетия в среднем приблизительно на 10-30 % , в зависимости от сценария поведения концентрации парниковых газов. Более раннее весеннее таяние изменяет время наступления пика весеннего половодья на реках, питающихся водами от снеготаяния. В результате, расходы рек в более поздний период уменьшатся, оказывая потенциальное влияние на управление водными ресурсами. Эти особенности отражаются в результатах модельных расчетов по ГКМ.

Разрушение многолетней мерзлоты позволит воде просачиваться более глубоко в землю, но оно также позволит земле прогреваться, что может увеличить эвапотранспирацию. Однако большинство современных ГКМ не включают все процессы, необходимые для хорошего моделирования изменения в состоянии многолетней мерзлоты. Исследования, анализирующие замерзание почвы или использующие выходную продукцию ГКМ в качестве внешних условий для более детальных моделей суши, дают основание ожидать существенное сокращение многолетней мерзлоты к концу этого столетия. Кроме того, хотя современные ГКМ не включают в явном виде эволюцию ледников, можно ожидать, что ледники продолжат отступление, и в некоторых местах объем вод, который ледники отдают рекам в летний период, по мере их исчезновения может сокращаться. Уменьшение объема ледников также внесет свой вклад в уменьшение стока рек в весенний период. Однако если среднегодовое количество осадков в виде дождя или снега возрастет, то это не обязательно означает, что среднегодовой сток рек уменьшится.



ЧЗВ 12.2, рисунок 1 | Схематическая диаграмма проекций изменений основных компонент гидрологического цикла. Голубые стрелки показывают основные типы изменения движения воды в климатической системе Земли: направленный к полюсам перенос вод под влиянием внетропических ветров, испарение с поверхности и сток с суши в океаны. Затененные районы означают области, которые с более высокой вероятностью могут стать более сухими или более влажными. Желтые стрелки показывают важное изменение в атмосферной циркуляции, связанной с циркуляцией Хэдли, восходящее движение в которой способствует тропическим осадкам, подавляя при этом осадки в субтропиках. Проекция, построенная по данным моделей, показывает, что нисходящая ветвь циркуляции Хэдли сместится к полюсам как в Северном, так и в Южном полушариях, и будет сопровождаться засушливостью. В высоких широтах прогнозируются более влажные условия, поскольку более теплая атмосфера будет способствовать выпадению большего количества осадков при более интенсивном переносе вод в эти районы.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 12.3 Что произошло бы с будущим климатом, если бы мы прекратили выбросы сегодня?

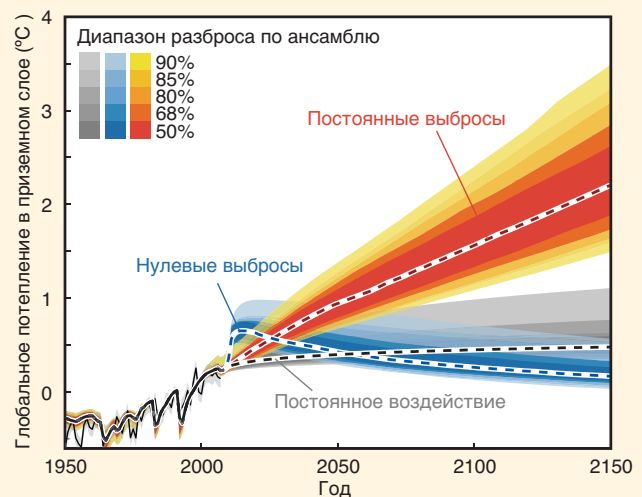
Прекращение выбросов сегодня – это сценарий, который невозможен, но это один из нескольких идеализированных сценариев, которые позволяют взглянуть изнутри на реакцию климатической системы и углеродного цикла. Из-за существования в климатической системе процессов, протекающих во множестве временных масштабов, связь между изменением выбросов и реакцией климата довольно сложная, причем некоторые изменения продолжают происходить в течение длительного времени после прекращения выбросов. Модели и знание процессов показывают, что из-за большой инерции океана и длительного времени жизни многих парниковых газов, в первую очередь диоксида углерода, значительное потепление будет сохраняться в течение многих столетий после прекращения выбросов парниковых газов.

Попав в атмосферу, парниковые газы удаляются путем химических реакций с другими активными компонентами или, в случае диоксида углерода (CO_2), взаимодействуют с океаном и сушей. Эти процессы характеризуют время жизни газа в атмосфере, определяемое как время, необходимое для того, чтобы концентрация в объеме уменьшилась в e (2,71) раз. Время, в течение которого парниковые газы и аэрозоли сохраняются в атмосфере, варьирует в широком диапазоне от нескольких дней до тысяч лет. Например, время жизни аэрозолей составляет недели, метана (CH_4) – около 10 лет, окиси азота – 100 лет и гексафторэтана (C_2F_6) – около 10 000 лет. CO_2 представляет собой более сложный случай, поскольку он удаляется из атмосферы посредством множества физических и биохимических процессов в океане и на суше; все они происходят в разное время и в разных временных масштабах. При массе единовременного выброса приблизительно 1 000 ПгС, около половины удаляется в течение нескольких десятилетий, но оставшаяся часть сохраняется в атмосфере гораздо дольше. Около 15–40 % от массы выброса CO_2 еще сохраняется в атмосфере спустя 1 000 лет.

В результате значительного времени жизни важнейших антропогенных парниковых газов их повышенная концентрация будет сохраняться в атмосфере в течение долгого времени после прекращения выбросов. Если бы выбросы были остановлены, концентрация парниковых газов в атмосфере не вернулась бы к своему доиндустриальному уровню. Концентрация метана вернулась бы к значениям, близким к доиндустриальному уровню приблизительно через 50 лет, концентрация N_2O потребовалась бы для этого несколько сотен лет, в то время как концентрация CO_2 никогда не вернулась бы к доиндустриальному уровню в течение времени, значимого для нашего общества. С другой стороны, изменения в выбросах короткоживущих веществ, таких как аэрозоли, приведут к почти мгновенным изменениям их концентраций.

Реакция климатической системы на воздействия парниковых газов и аэрозолей характеризуется инерцией, преимущественно вызываемой океаном. Океан обладает большим потенциалом поглощения тепла и характеризуется медленным перемешиванием между поверхностью и глубокими слоями океана. Это означает, что потребуются несколько столетий для того, чтобы весь океан прогрелся и достиг равновесия с измененным радиационным воздействием. Поверхностные слои океана (и, следовательно, континенты) будут продолжать прогреваться до тех пор, пока приземная температура не достигнет равновесия с этим новым радиационным воздействием. ДО4 показал, что если бы концентрация парниковых газов сохранялась постоянной на современном уровне, то в течение XXI века поверхность Земли нагрелась бы еще на $0,6\text{ }^\circ\text{C}$ по сравнению с 2000 г. Это «приверженность» климата текущим концентрациям (или «приверженность» постоянному составу атмосферы), показана серым цветом на рисунке 1, ЧЗВ 12.3. Постоянные выбросы на современном уровне привели бы к дальнейшему увеличению концентрации в атмосфере и еще большему потеплению по сравнению с тем, которое наблюдалось до сих пор (ЧЗВ 12.3, рисунок 1, красные линии).

(продолжение на следующей странице)



ЧЗВ 12.3, рисунок 1 | Проекция, основанная на модели углеродного цикла с учетом энергетического баланса под названием «Модель для оценки изменения климата, вызванного парниковыми газами (MAGICC)», для постоянного состава атмосферы (постоянное воздействие, серый цвет), постоянных выбросов (красный цвет) и нулевых будущих выбросов (голубой цвет), начиная с 2010 г., с оценками неопределенности. Рисунок заимствован из Hare and Meinshausen (2006) на основе калибровки простой климатической модели с углеродным циклом по всем моделям этапа 3 Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP3) и моделям Проекта по сравнению сопряженных моделей климата и углеродного цикла (C4MIP) (Meinshausen et al., 2011a; Meinshausen et al., 2011b). Результаты основаны на полном моделировании переходного состояния климата, начиная с доиндустриального, и использовании компонент радиационного воздействия. Тонкая черная линия и затенение обозначают наблюдаемое потепление и неопределенность.

ЧЗВ 12.3 (продолжение)

Даже если бы антропогенные выбросы парниковых газов прекратились сейчас, то радиационное воздействие за счет концентраций этих долгоживущих парниковых газов только незначительно сокращалось бы в будущем со скоростью, определяемой временем жизни данного газа (см. выше). Более того, реакция климата системы Земля на это радиационное воздействие была бы еще более медленной. Глобальная температура не среагировала бы быстро на изменения концентрации парниковых газов. Предотвращение выбросов только CO_2 привело бы к сохранению почти постоянной температуры в течение многих столетий. Одновременное предотвращение короткоживущего отрицательного воздействия со стороны сульфатных аэрозолей (например, путем принятия мер по сокращению загрязнения воздуха) вызовет временное потепление на несколько десятых градуса, как показано синим цветом на рисунке 1, ЧЗВ 12.3. Таким образом, результатом приведения всех выбросов к нулевому уровню стала бы, после непродолжительного потепления, приблизительная стабилизация климата на многие столетия. Это называется «приверженностью» прошлым выбросам (или приверженностью будущим нулевым выбросам). Концентрация ПГ и, следовательно, радиационное воздействие, уменьшились бы, но инерция климатической системы задержала бы реакцию температуры.

Вследствие большой инерции климата и углеродного цикла долгосрочная глобальная температура по большей части контролируется суммарными выбросами CO_2 , которые накопились в течение времени, независимо от того, когда произошли выбросы. Таким образом, ограничение глобального потепления ниже определенного уровня (например, на 2°C выше доиндустриального) предполагает заданный баланс CO_2 , то есть, более значительные выбросы на более ранней стадии предполагают более сильные ограничения в более поздний период. Более высокий целевой уровень для климата позволит сохранить более высокие пиковые концентрации CO_2 и, следовательно, большие совокупные выбросы CO_2 (позволяя, например, отложить необходимое сокращение выбросов).

Глобальная температура представляет собой полезное обобщенное значение для описания величины изменения климата, но не все изменения приведут к пропорциональному изменению глобальной температуры. Например, изменения в гидрологическом цикле также зависят от вида воздействия (например, парниковые газы, аэрозоли, изменения в землепользовании), в то время как более медленно меняющимся компонентам системы Земля, таким как подъем уровня моря и ледяной щит, потребуется больше времени на реакцию, и в таком случае могут быть достигнуты критические пороговые значения или произойти резкие или необратимые изменения в климатической системе.

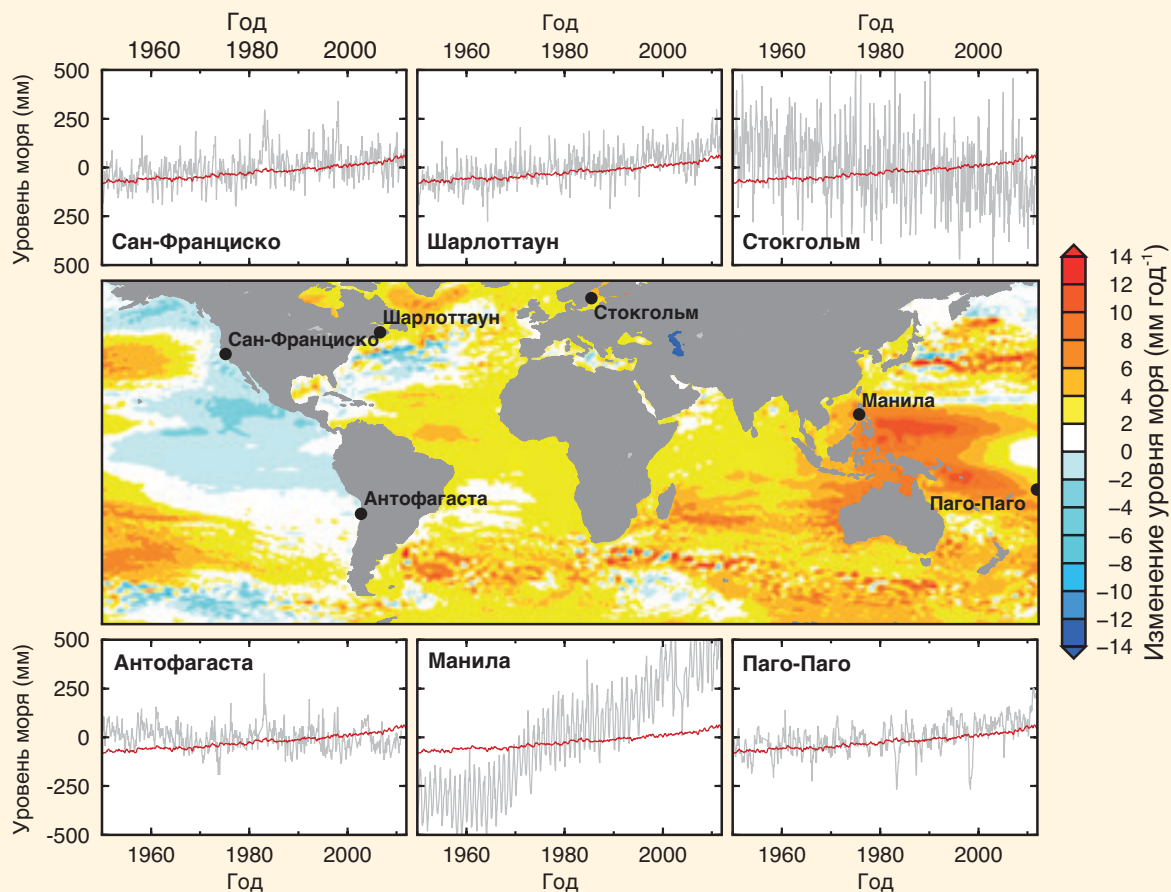
Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 13.1 | Почему изменение локального уровня моря отличается от глобального среднего показателя?

Изменение направления приземных ветров, тепловое расширение океанской воды и тающий лед могут изменить океанские течения, которые, в свою очередь, приводят к колебаниям уровня моря, изменяющимся от места к месту. Прошлые и современные колебания в распределении льда на суше влияют на форму и гравитационное поле Земли, которое также вызывает региональные колебания уровня моря. Дополнительные колебания уровня моря создаются за счет влияния более локализованных процессов, таких как уплотнение отложений и тектоника.

Вертикальное движение либо моря, либо суши вдоль любого побережья может вызвать изменения уровня моря по отношению к суше (известное как относительный уровень моря). Например, локальное изменение может быть вызвано увеличением высоты морской поверхности, либо понижением поверхности суши. В течение сравнительно коротких промежутков времени (от нескольких часов до нескольких лет) в формировании колебаний уровня доминирует влияние приливов, штормов и климатической изменчивости (такой как Эль-Ниньо). Землетрясения и оползни также могут оказывать влияние, вызывая изменения рельефа суши и, иногда, цунами. В течение более длительных промежутков времени (от нескольких десятилетий до нескольких столетий) влияние климатических изменений (с последующими изменениями объемов воды в океане и льда на суше) вносит главный вклад в изменение уровня моря в большинстве регионов. В этих более длительных временных масштабах различные процессы могут вызывать вертикальное движение поверхности суши, в результате которых также могут происходить существенные изменения относительного уровня моря.

Начиная с конца XX века спутниковые измерения высоты поверхности океана относительно центра Земли (известные как геоцентрический уровень моря) показывают различающиеся темпы изменения геоцентрического уровня моря в мире (см. ЧЗВ 13.1, рисунок 1). Например в западной части Тихого океана темпы в три раза превышали средние (за период с 1993 г. по 2012 г.) глобальные темпы в приблизительно 3 мм в год. В противоположность этому, темпы в восточной части Тихого океана были ниже, чем среднее глобальное значение, причем на большей части западного побережья американского континента наблюдалось падение высоты уровня моря за тот же период. *(продолжение на следующей странице)*



ЧЗВ 13.1, рисунок 1 | Карта темпов изменения высоты уровня моря (геоцентрический уровень моря) за период 1993-2012 г.г. по данным спутниковой альтиметрии. Приведены также изменения относительного уровня моря (серые линии) для избранных мареографных станций за период 1950-2012 г.г. Для сравнения приведена оценка изменения среднего глобального уровня моря (красная линия) с рядами данных для каждого мареографа. Довольно большие короткопериодные колебания локального уровня моря (серые линии) связаны с естественной изменчивостью климата, описанной в основном тексте. Например, большие регулярные отклонения в Паго-Паго связаны с Эль-Ниньо - Южное колебание.

ЧЗВ 13.1 (продолжение)

Большая часть пространственных вариаций, показанных на рисунке 1, ЧЗВ 13.1, являются результатом естественной изменчивости климата, такой как Эль-Ниньо и Тихоокеанское десятилетнее колебание, во временных масштабах от около года до нескольких десятилетий. Эти климатические колебания изменяют приземные ветры, океанские течения, температуру и соленость и, следовательно, влияют на уровень моря. Влияние этих процессов продолжится в XXI веке и будет накладываться на пространственную структуру изменения уровня моря, связанную с долговременными изменениями климата, которые также происходят за счет изменения приземных ветров, океанских течений, температуры и солености, а также объема океана. Однако в противоположность естественной изменчивости долговременные тренды накапливаются с течением времени и, как предполагается, этот процесс будет доминировать в течение XXI века. Таким образом, результирующие темпы изменения геоцентрического уровня моря в этот более длительный период могут образовывать пространственные структуры, весьма отличные от приведенной на рисунке 1, ЧЗВ 13.1.

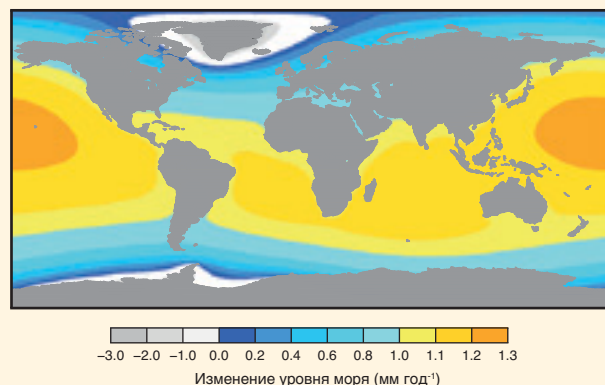
Мареографы измеряют относительный уровень моря и, таким образом, их измерения отражают изменения, вызванные вертикальным движением как суши, так и морской поверхности. Во многих береговых районах вертикальное движение суши невелико и, таким образом, долгосрочные темпы изменения уровня моря, зарегистрированные береговыми и островными мареографами, совпадают со средним глобальным значением (см. записи в Сан-Франциско и Паго-Паго на рисунке 1, ЧЗВ 13.1). В некоторых районах важное влияние оказывало вертикальное движение суши. Например, устойчивое падение уровня моря, зарегистрированное в Стокгольме (ЧЗВ 13.1, рисунок 1), вызвано подъемом этого района после таяния мощного (толщиной >1 км) континентального ледового щита в конце последнего ледникового периода от ~20 000 до ~9 000 лет назад. Такая продолжающаяся деформация суши, представляющая собой реакцию на таяние древнего ледяного щита, вносит значительный вклад в региональные изменения уровня моря в Северной Америке и северо-западной части Евразии, которые были покрыты мощными континентальными ледовыми щитами в период пика последнего ледникового периода.

В других регионах этот процесс может привести также к опусканию суши, что увеличивает относительный уровень моря, как это происходит в Шарлоттауне, где, по сравнению со средними глобальными темпами, наблюдался довольно большой подъем (ЧЗВ 13.1, рисунок 1). Вертикальное движение суши за счет смещения тектонических плит Земли также может вызвать отклонения от тренда среднего глобального уровня моря в некоторых районах, наиболее существенные в тех, которые расположены около зон активной субдукции, в которых одна тектоническая плита уходит под другую. В случае Антофагаста (ЧЗВ 13.1, рисунок 1) это, как представляется, приводит к равномерному подъему суши и поэтому относительный уровень падает.

В дополнение к региональному влиянию вертикального движения суши на изменение относительного уровня моря некоторые процессы приводят к быстрым, но очень локальным смещениям земной поверхности. Например, повышенные темпы подъема по сравнению с глобальным средним показателем в Маниле (ЧЗВ 13.1, рисунок 1) обусловлены опусканием суши, вызванным интенсивным выкачиванием подземных вод. Опускание суши, вызванное естественными и антропогенными процессами, такими как добыча подземных вод или углеводородов, является обычным во многих прибрежных районах, в частности в дельтах крупных рек.

Обычно предполагается, что таяние ледников или Гренландского и Антарктического ледяных щитов вызовет равномерный глобальный подъем уровня моря, что очень похоже на наполнение ванны водой. В действительности, такое таяние приводит к региональным колебаниям уровня моря из-за множества процессов, включая изменение океанских течений, ветров, гравитационного поля Земли и высоты суши. Например, компьютерные модели, которые воспроизводят два последних процесса, предсказывают региональное падение относительного уровня моря в окрестностях тающих ледовых щитов, поскольку гравитационное притяжение между льдом и океанской водой уменьшается и суша имеет тенденцию подниматься по мере таяния льда (ЧЗВ 13.1, рисунок 2). Однако по мере удаления от тающего ледового щита рост уровня моря повышен по сравнению со средним глобальным значением.

В качестве резюме следует сказать, что имеется множество процессов, управляющих изменением высоты поверхности и дна океана, в результате чего формируются пространственные структуры изменения уровня моря в масштабах от локального до регионального. Комбинация этих процессов создает сложную структуру суммарного изменения уровня моря, которая изменяется со временем по мере изменения относительного вклада каждого процесса. Среднее глобальное изменение представляет собой полезное уникальное значение, которое отражает вклад климатических процессов (например, таяния льда на суше и повышения температуры океана) и представляет собой хорошую оценку изменения уровня моря во многих местах на побережье. С другой стороны, однако, там, где активны различные региональные процессы, возможны большие отклонения от среднего глобального значения.



ЧЗВ 13.1, рисунок 2 | Результаты моделирования, показывающие изменение относительного уровня моря, вызванного таянием Гренландского ледяного щита и западной части Антарктического ледяного щита, со скоростью 0,5 мм год⁻¹ каждый (при том, что среднее глобальное значение подъема уровня моря равно 1 мм год⁻¹). Полученные при моделировании изменения уровня моря меньше средних глобальных значений в районах вблизи тающего ледника, но превышают их по мере удаления (заимствовано из Milne et al., 2009).

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 13.2 | Будут ли Гренландский и Антарктический ледяные щиты способствовать изменению уровня моря в оставшуюся часть столетия?

Ледовые щиты в Гренландии, Западной и Восточной Антарктиде представляют собой крупнейшие резервуары пресной воды на планете. В этом качестве они способствовали изменению уровня моря в геологическом прошлом и в последнее время. Они увеличивали свою массу за счет аккумуляции (при выпадении снега) и теряли ее за счет абляции с поверхности (преимущественно при таянии льда) и стока на своих морских границах либо при образовании плавающего шельфового ледника, либо при откалывании айсбергов непосредственно в океан. Усиление аккумуляции вызывает падение среднего глобального уровня моря, тогда как усиление абляции с поверхности способствует его росту. Колебания этих потоков массы зависят от ряда процессов как внутри ледового щита, так и вне его, в атмосфере и океанах. Однако в течение этого века приход массы превысил ее потери, так что можно ожидать продолжения положительного вклада в глобальный уровень моря. В этом ЧЗВ обобщаются результаты современных исследований по этой проблеме и представлены характерные величины вкладов различных процессов на основе полной оценки для конца столетия (2081-2100г г. относительно 1986-2005 г.г.), которые представлены как значения с вероятностью 2/3, обобщенные по всем сценариям выбросов.

В течение тысячелетий медленное горизонтальное движение в ледовом щите переносит массу из районов с результирующей аккумуляцией (преимущественно, из высоко расположенных внутренних частей) в области с результирующей потерей (преимущественно, низко лежащая периферия и береговой периметр). В настоящее время Гренландия теряет приблизительно половину аккумулированного льда за счет абляции с поверхности и половину – из-за откалывания. С другой стороны, Антарктика теряет фактически все свои накопления за счет откалывания и подводного таяния окаймляющих шельфовых льдов. Шельфовые льды способны плавать, так что потери массы оказывают только пренебрежительно малое прямое воздействие на уровень моря, хотя они могут влиять на уровень моря опосредовано, изменяя баланс льда своего родительского ледового щита (см. ниже).

Результаты некоторых исследований с использованием данных спутниковой радиолокационной альтиметрии, говорят о том, что количество снега в Восточной Антарктике увеличилось, но последние результаты моделирования атмосферы и спутниковые измерения изменений гравитационного поля не показали значимого увеличения. Это очевидное несоответствие может быть обусловлено тем, что сравнительно небольшие долгосрочные тренды маскируются сильной межгодовой изменчивостью количества снега. Проекция позволяет говорить о существенном увеличении количества снега в Антарктике в XXI веке, преимущественно из-за того, что при более теплой атмосфере увеличатся потоки влаги в полярные регионы. Региональные изменения в атмосферной циркуляции, по-видимому, играют второстепенную роль. Согласно проекциям, эти процессы, с учетом всего Антарктического ледового щита, приведут к падению уровня моря на величину от 0 до 70 мм.

В настоящее время температуры воздуха во всей Антарктике слишком холодные для существенной абляции с поверхности. Однако полевые и спутниковые наблюдения указывают на усиленный сток, проявляющийся в опускании поверхности ледника, в нескольких локальных прибрежных районах. Все эти районы (ледники Пайн-Айленд и Твейтс в Западной Антарктике и ледники Тоттен и Кука в Восточной Антарктике) лежат в гранитных желобах глубиной в километр, обращенных к краю антарктического континентального шельфа. Полагают, что рост скорости сползания был вызван региональными изменениями циркуляции океана, создающей контакт теплой воды с плавающим шельфовым льдом.

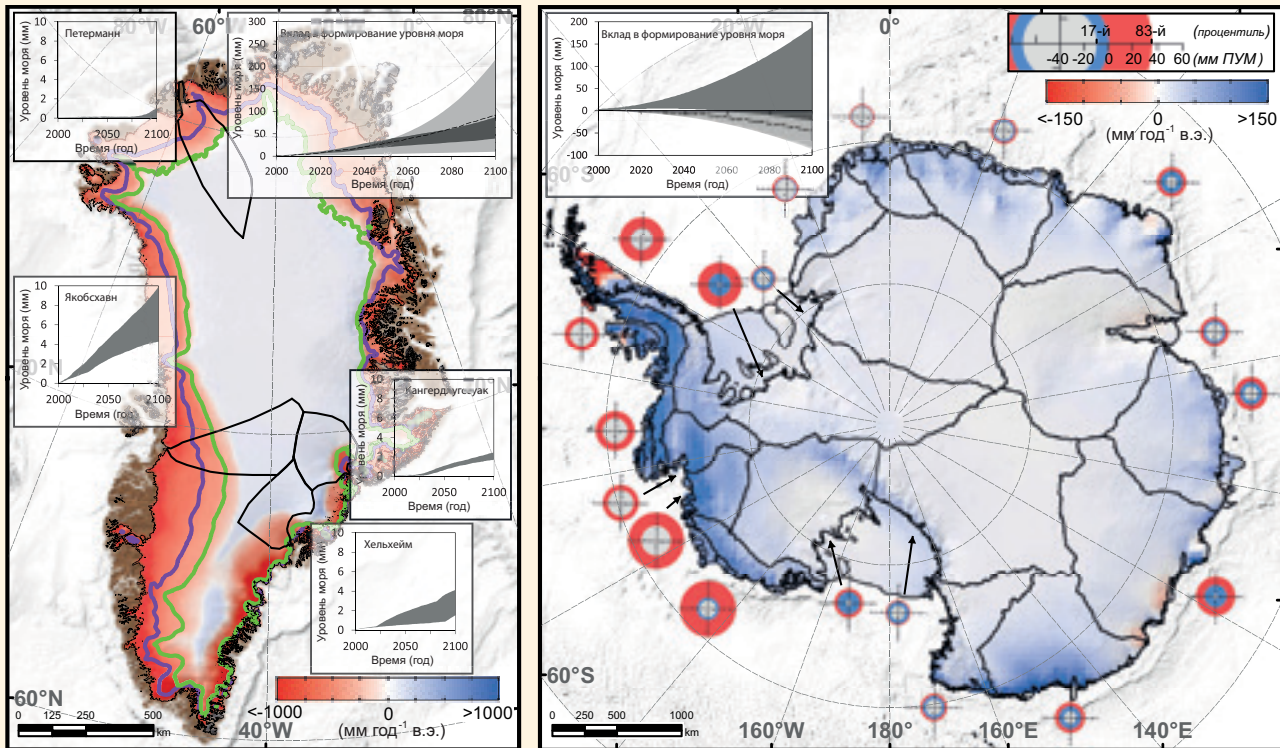
На расположенном севернее Антарктическом полуострове происходит хорошо подтвержденное наблюдениями обрушение ледяного шельфа, что, по-видимому, связано с усилением таяния на поверхности, вызванным повышением приземной температуры в атмосфере за последние десятилетия. Последующее утончение ледников, при котором вода просачивалась в эти шельфовые ледники, имело положительное, но малое, влияние на уровень моря, как и другие похожие явления, возможные в будущем на полуострове. Региональные проекции изменения температуры атмосферы в XXI веке говорят о том, что этот процесс, по-видимому, не повлияет на устойчивость крупных шельфовых ледников как в Западной, так и в Восточной Антарктике, хотя эти шельфовые ледники могут оказаться под угрозой при будущих изменениях океана (см. ниже).

(продолжение на следующей странице)

ЧЗВ 13.2 (продолжение)

Оценки вклада антарктических ледовых щитов в состояние уровня моря за последние десятилетия варьируют в широких пределах, хотя в последнее время было потрачено много усилий для согласования данных наблюдений. Имеются серьезные свидетельства того, что усиленный сток (в первую очередь в Западной Антарктике) в настоящее время перевешивает любое увеличение аккумуляции снега (в основном, в Восточной Антарктике), означая тенденцию к подъему уровня моря. Прежде чем можно будет сделать более надежные проекции стока в XXI веке, необходимо усовершенствовать модели, воспроизводящие движение льда, особенно любые изменения в линии налегания, которая разделяет плавучий лед от того, который покоится на горных породах, а также взаимодействия между шельфовым льдом и океаном. Концепция «нестабильности морского ледяного щита» основана на идее о том, что сток льда с ледового щита, покоящегося на горных породах ниже уровня моря, усиливается, если лед на линии налегания более толстый и, следовательно, движется быстрее. На горных породах, наклоненных к внутренней части ледового щита, это создает порочный круг усиленного стока, делая лед на линии налегания более тонким и превращая его в плавучий. Затем линия налегания отступает вниз по склону к более толстому льду, что, в свою очередь, вновь вызывает усиление стока. Эта обратная связь потенциально может иметь результатом быструю потерю частей ледяного щита, по мере того, как линии налегания отступают вдоль ложбин и бассейнов, которые углубляются в сторону внутренней части ледяного щита.

(продолжение на следующей странице)



ЧЗВ 13.2, рисунок 1 | Иллюстративное обобщение проекций изменений баланса массы снега (БМС) и стока к 2100 г. для а) Гренландского и б) Антарктического ледяных щитов. Цвета на карте обозначают проекцию изменения БМС между началом и концом XXI века с использованием региональной атмосферной климатической модели RACMO2 при сценарии дальнейшего потепления A1B (Антарктика) и РТК4.5 (Гренландия). Для Гренландии положение средней линии равновесия в течение этих периодов времени показано фиолетовым и зеленым цветом, соответственно. Границы ледовых щитов и линии налегания, а также секторов ледового щита показаны черными линиями. Для Гренландии результаты моделирования стока четырех главных выводных ледников показаны в виде вставок, тогда как проекция изменения стока ледяных щитов в Антарктике, основанная на вероятностной экстраполяции наблюдаемых трендов, представлена в виде цветных колец. Внешний и внутренний радиусы каждого кольца показывают верхнюю и нижнюю границы интервала вклада с вероятностью 2/3, соответственно (шкала приведена в верхней правой части); красный цвет соответствует потере массы (подъему уровня моря), тогда как синий соответствует приращению массы (падению уровня моря). Наконец, вклад в уровень моря показан для каждого ледового щита (вставка над картами), причем светло-серый цвет относится к БМС (модельный эксперимент, использованный для создания карты БМС, показан штриховой линией), а темно-серый – к стоку. Все проекции показывают верхнюю и нижнюю границы интервала вклада с вероятностью 2/3 для всей совокупности сценариев.

ЧЗВ 13.2 (продолжение)

Будущее воздействие климата может вызвать такое неустойчивое разрушение, которое может продолжаться затем независимо от климата. Это возможное разрушение может происходить в отдельных ложбинах в горных породах в течение сотен лет в Западной Антарктике и секторах Восточной Антарктики. Многие исследования сосредоточены на понимании того, насколько важна эта теоретическая концепция для таких ледовых щитов. Уровень моря может подняться, если влияние морской неустойчивости станет существенным, но в настоящее время нет достаточных данных для однозначного определения прекурсора такого неустойчивого отступления. Согласно проекциям, вклад изменения стока в подъем уровня моря составит к 2100 г. от -20 (т.е., падение) до 185 мм, хотя неопределенное влияние неустойчивости системы морской лед - ледяной щит может увеличить эту цифру на несколько десятых метра. В целом представляется, что повышение количества осадков в виде снега только частично компенсирует повышение уровня моря, вызванного увеличенным стоком льда.

В Гренландии потеря массы из-за повышенной абляции с поверхности и стока преобладает над наметившимся в последнее время трендом увеличения аккумуляции во внутренней части. Согласно оценкам, потеря массы за счет абляции с поверхности удвоилась с начала 1990-х годов. Как ожидается, этот тренд продолжится в течение следующего столетия в связи с увеличением площади ледового щита, подверженного абляции с поверхности в течение длительных периодов времени. Действительно, проекции на XXI век говорят о том, что все возрастающие потери массы будут преобладать над медленно растущей аккумуляцией. Повторное замерзание талой воды внутри снежников на поверхности ледовых щитов оказывают важное (хотя, возможно, временное) ослабляющее влияние на соотношение между потеплением атмосферы и потерей массы.

Хотя наблюдаемая реакция выводных ледников является как сложной, так и весьма изменчивой, откалывание айсбергов от многих главных выводных ледников в Гренландии за последнее десятилетие значительно усилилось и представляет собой источник заметной дополнительной потери массы. Похоже, что это связано с вторжением теплой воды в окраинные моря вокруг Гренландии, но неясно, связано ли это явление с междесятилетней изменчивостью, такой как Североатлантическое колебание, или с более долговременным трендом, обусловленным потеплением, вызванным парниковыми газами.

Составление проекций его влияния на сток в XXI веке поэтому затруднено, но оно указывает, тем не менее, на очевидную чувствительность стока к потеплению океана. Влияние поверхностной талой воды на смазку подстилающих ледовый щит горных пород и способность более теплого льда легко деформироваться могут привести к увеличению скорости движения льда, но связь с наблюдающимся в последнее время увеличением стока остается неясной. Согласно проекциям, изменение результирующей разности между абляцией с поверхности и аккумуляцией приведет в 2081-2100 гг. к повышению уровня моря на 10 - 160 мм (по отношению к 1986-2005 гг.), тогда как увеличенный сток, как прогнозируется, добавит еще от 10 до 70 мм (таблица 13.5).

Гренландский ледяной щит внес вклад в повышение среднего глобального уровня моря за последние несколько десятилетий, и этот тренд, как ожидается, усилится в течение этого столетия. В противоположность Антарктике, в Гренландии нет известных крупномасштабных областей неустойчивости, которые могли бы вызвать резкое увеличение подъема уровня моря в XXI веке. Однако возможно существование порогового значения, в результате чего продолжающееся уменьшение размеров может стать необратимым на масштабах в несколько столетий, даже если климат вернулся бы к своему доиндустриальному состоянию в течение столетия. Хотя потеря массы в результате откалывания айсбергов в будущие десятилетия может усилиться, этот процесс, в конечном счете, прекратится, когда кромка льда отступит до гранитных пород, расположенных над уровнем моря, на которых лежит основная масса ледяного щита.

Часто задаваемые вопросы

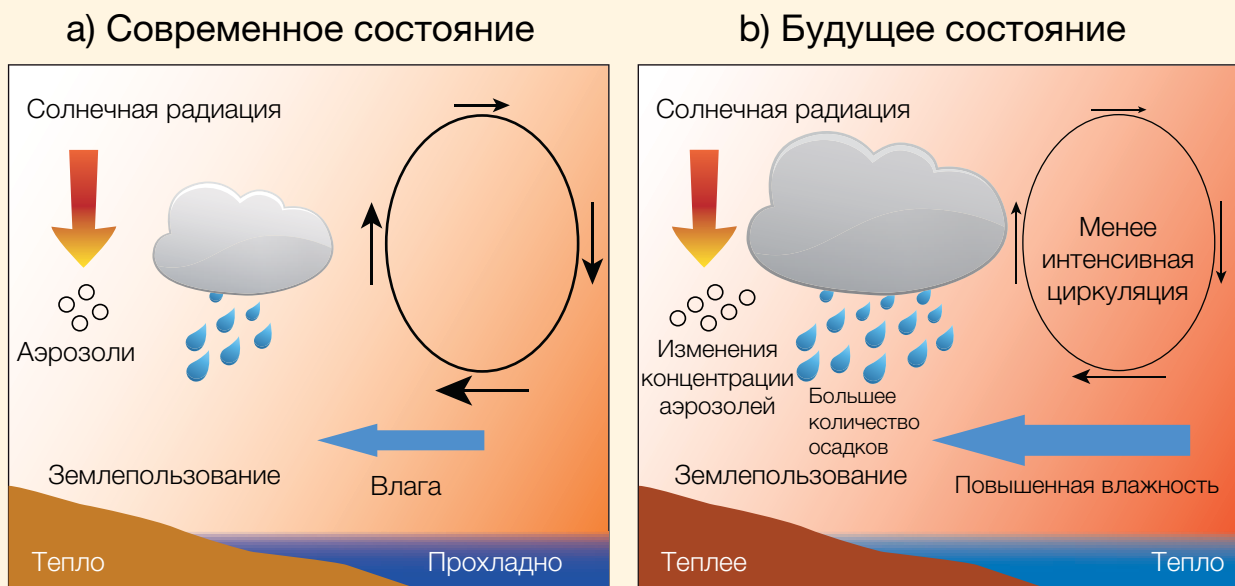
ЧЗВ 14.1 | Как изменение климата влияет на муссоны?

Муссоны представляют собой наиболее важный элемент сезонной изменчивости климата в тропиках и обуславливают большую часть годового количества осадков во многих районах. Их интенсивность и время наступления связаны с содержанием влаги в атмосфере, контрастом температуры между сушей и морем, характером растительного покрова и землепользования, содержанием аэрозолей в атмосфере и другими факторами. В целом, по данным проекций, муссонные осадки станут более интенсивными и будут влиять на большие по площади области, поскольку содержание влаги в атмосфере увеличивается с температурой. Однако локальное влияние изменения климата на региональную интенсивность и изменчивость муссонов является сложным и более неопределенным.

Муссонные дожди выпадают на всех континентах, где есть тропики: в Азии, Австралии, на американском континенте и в Африке. Муссонная циркуляция формируется под действием разности температуры суши и моря, которая изменяется от сезона к сезону в зависимости от распределения солнечного нагрева. Продолжительность и количество жидких осадков зависит от содержания влаги в атмосфере и от конфигурации и интенсивности атмосферной циркуляции. Игруют роль региональное распределение суши и океана, а также рельеф. Например, Тибетское плато из-за неоднородности его снежного покрова и нагрева поверхности определяет интенсивность сложных азиатских муссонных систем. Там, где влажные, направленные на берег, воздушные потоки поднимаются над горами, как это происходит в юго-западной части Индии, муссонные осадки интенсифицируются. На подветренной стороне таких гор они ослабляются.

Начиная с конца 1970-х годов в результате изменений атмосферной циркуляции восточно-азиатский летний муссон ослаблялся и не распространялся столь далеко на север, как в более раннее время. Это, в свою очередь, приводило к усилению засухи в северной части Китая и к наводнениям в более южных районах в долине реки Янцзы. В противоположность этому индо-австралийская и западно-тихоокеанская муссонные системы не проявляют согласованных трендов начиная с середины XX века, но в значительной степени модулируются Эль-Ниньо - Южное колебание (ЭНЮК). Аналогичным образом, с изменчивостью ЭНЮК в большой мере связаны изменения, наблюдаемые в южно-американской муссонной системе за последние несколько лет. Данные о трендах в северо-американской муссонной системе ограничены, но наблюдалась тенденция к увеличению количества осадков в виде дождя на северной стороне главного муссонного района. В поведении индийского или африканского муссонов не наблюдалось никаких систематических долгосрочных трендов.

(продолжение на следующей странице)



ЧЗВ 14.1, рисунок 1 | Схематическая диаграмма, иллюстрирующая главные механизмы влияния деятельности человека на муссонные осадки. По мере потепления климата перенос водяного пара с океана на сушу усиливается, поскольку более теплый воздух содержит большее количество водяного пара. Это также увеличивает потенциал сильных осадков. Связанные с потеплением изменения крупномасштабной циркуляции влияют на интенсивность и протяженность общей муссонной циркуляции. Изменения в землепользовании и содержании атмосферных аэрозолей также могут влиять на количество солнечной радиации, которая поглощается атмосферой и сушей, потенциально уменьшая различие в температуре суши и моря.

ЧЗВ 14.1 (продолжение)

Земная поверхность нагревается более быстро, чем поверхность океана, так что контраст приземной температуры увеличивается во многих регионах. Однако при потеплении климата опрокидывающая циркуляция в тропической атмосфере в среднем замедляется за счет ограничений в энергетическом балансе тропической атмосферы. Эти изменения атмосферной циркуляции приводят к региональным изменениям интенсивности, площади охвата и времени наступления муссона. Имеется ряд других эффектов в части того, как изменение климата может повлиять на муссоны. Нагрев поверхности меняется в зависимости от интенсивности поглощения солнечной радиации, которая, в свою очередь, зависит от любых изменений в землепользовании, изменяющих отражаемость (альбедо) поверхности суши. Кроме того, изменение содержания атмосферных аэрозолей, таких как загрязняющие воздух вещества, влияет на количество солнечной радиации, достигающей земли, что может изменять муссонную циркуляцию путем изменения летнего солнечного нагрева земной поверхности. С другой стороны, поглощение солнечной радиации аэрозолями нагревает атмосферу, изменяя распределение тепловыделения в ней.

Наиболее сильное влияние изменения климата на муссоны оказывает увеличение содержания атмосферной влаги, связанное с потеплением атмосферы, приводящее к увеличению суммарного количества муссонных осадков, даже если сила муссонной циркуляции ослабевает или не меняется.

Проекция с помощью климатических моделей для XXI века показывают рост суммарного количества муссонных осадков по большей мере благодаря увеличению содержания влаги в атмосфере. Как следует из проекций, суммарная площадь области, охваченной муссоном, увеличится вместе с общим расширением тропических районов в направлении полюсов. Согласно проекциям по климатическим моделям, глобальное количество муссонных осадков увеличится от 5 % до приблизительно 15 %, в зависимости от сценария. Хотя суммарные муссонные осадки в тропиках увеличатся, некоторые районы будут получать меньше муссонных дождей в связи с ослаблением тропических атмосферных циркуляций. Даты начала муссона, *вероятно*, станут более ранними или сильно не изменятся, а даты окончания муссона, *вероятно*, станут более поздними, что приведет к удлинению сезона муссонов.

Будущие региональные тренды интенсивности и времени наступления муссона остаются неопределенными во многих частях мира. Межгодовые изменения муссона во многих тропических регионах подвержены влиянию ЭНЮК. Как в будущем изменится ЭНЮК и как изменится его влияние на муссон также остается неопределенным. Однако прогнозируемое общее увеличение количества муссонных осадков указывает на соответствующий рост риска экстремальных дождей в большинстве регионов.

Часто задаваемые вопросы

ЧЗВ 14.2 | Как будущие проекции регионального климата связаны с проекциями глобальных средних показателей?

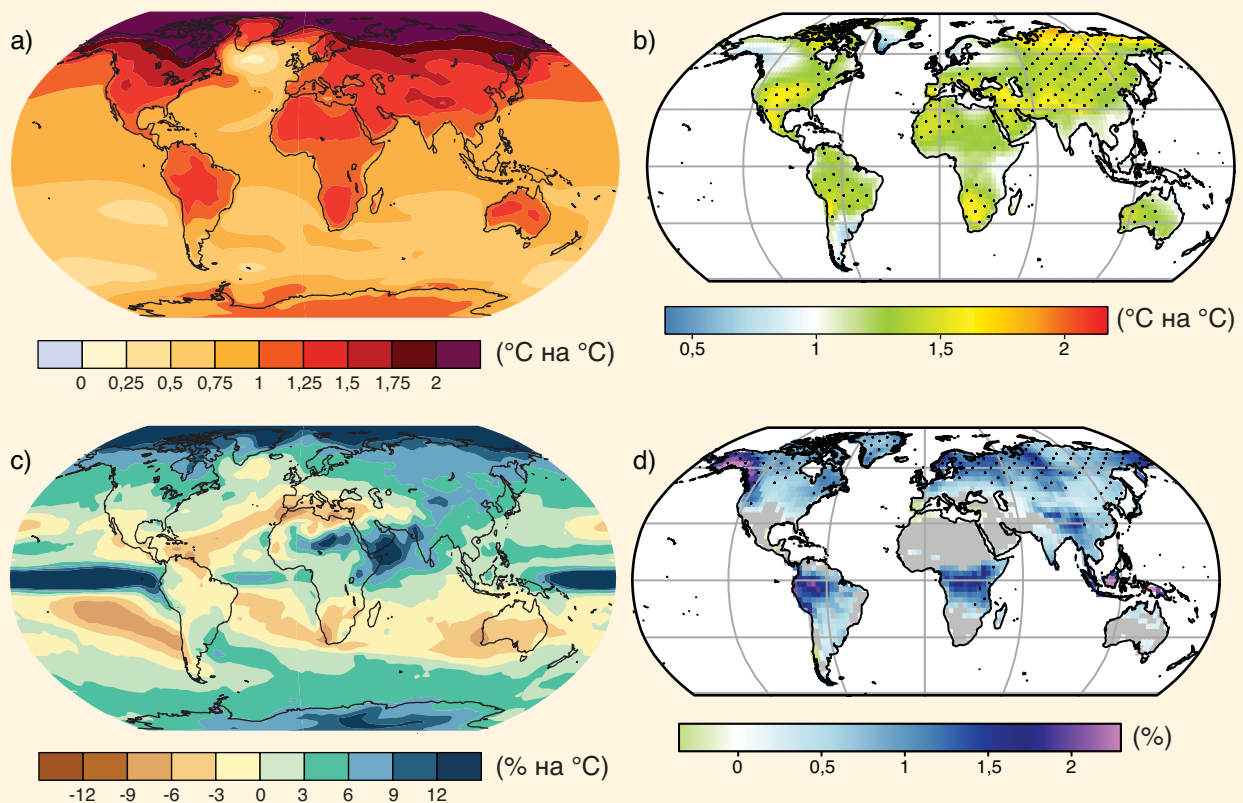
Связь между изменением регионального климата и изменением средних глобальных изменений сложная. Региональные климаты подвержены сильной пространственной изменчивости и поэтому по-разному реагируют на изменения в глобальном влиянии. Фактически изменение глобального среднего представляет собой удобное обобщение многих различных вариантов реакции климата.

Тепло и влага и их изменения распределены по земному шару неравномерно по нескольким причинам:

- внешние воздействия изменяются в пространстве (например, солнечная радиация зависит от широты, выбросы аэрозоля имеют локальные источники, землепользование подвержено региональным изменениям, и т.д.);
- характеристики поверхности изменяются в пространстве, например, контраст суша-море, рельеф, температура поверхности моря, содержание почвенной влаги;
- погодные системы и океанские течения перераспределяют тепло и влагу из одного региона в другой.

Погодные системы связаны с имеющими важное региональное значение климатическими явлениями, такими, как муссоны, зоны тропической конвергенции, траектории циклонов и важные проявления изменчивости климата (например, Эль-Ниньо - Южное колебание (ЭНЮК), Североатлантическое колебание (САК), Южная кольцевая мода (ЮКМ), и т.д.). Помимо модуляции регионального потепления некоторые климатические явления, согласно проекциям, изменятся в будущем, что может привести к дополнительным воздействиям на региональные климаты (см. таблицу 14.3).

(продолжение на следующей странице)



ЧЗВ 14.2, рисунок 1 | Проекция изменений в XXI веке средних годовых и экстремальных за год значений (над сушей) приземной температуры воздуха и осадков: а) средней приземной температуры на °C изменения средней глобальной температуры, б) 90-ого перцентиля максимальной суточной температуры на °C изменения средней глобальной максимальной температуры, с) среднего количества осадков (в % на °C изменения средней глобальной температуры), и д) доли дней с осадками, превышающими 95-й перцентиль. Источники: а) и с) -проекция изменений средних значений между 1986-2005 гг. и 2081-2100 гг. по результатам моделирования CMIP5 согласно сценарию RTK4.5 (см. главу 12, рисунок 12.41); б) и д) – проекция изменений экстремальных значений над сушей между 1980-1999 гг. и 2081-2100 гг. (заимствовано из Orłowsky and Seneviratne, 2012, рисунки 7 и 12).

ЧЗВ 14.2 (продолжение)

Проекция изменения приземной температуры и осадков демонстрируют большие региональные вариации (ЧЗВ 14.2, рисунок 1). Более интенсивное потепление приземного воздуха прогнозируется в континентальных регионах высоких широт и в Северном Ледовитом океане, тогда как в океанах и низких широтах изменения более близки к средним глобальным значениям (ЧЗВ 14.2, рисунок 1). Например, проекция показывает, что потепление в районе Великих озер Северной Америки будет на 50 % более интенсивным, чем среднее глобальное потепление. Аналогичные большие региональные различия наблюдаются также в проецируемых экстремальных температурах (ЧЗВ 14.2, рисунок 1b). Согласно проекциям, изменения в количестве осадков даже еще в большей степени подвержены региональной изменчивости, чем изменения температуры (ЧЗВ 14.2, рисунок 1c, d), обусловленные модуляцией со стороны климатических явлений, таких как муссоны и зоны тропической конвергенции. В приэкваториальных широтах, согласно проекциям, среднее количество осадков возрастет, тогда как в районах на границах субтропиков, обращенных к полюсам, среднее количество осадков уменьшится. В районах высоких широт проецируется рост среднего количества осадков и, в частности, увеличение экстремальных осадков из внутритропических циклонов.

Полярные регионы являются иллюстрацией сложности процессов, вовлеченных в изменение регионального климата. Прогнозируется более интенсивное, чем в глобальном среднем, потепление в Арктике, преимущественно из-за того, что таяние льда и снега формирует положительную обратную связь, создавая условия для поглощения большего количества тепла от Солнца. Это способствует дальнейшему потеплению, которое усиливает таяние льда и снега. Однако над Антарктическим континентом и окружающим океаном прогнозируемое потепление выражено в меньшей степени, частично из-за большого положительного тренда интенсивности Южной кольцевой моды. За последние десятилетия усилились западные ветры над средними широтами в южных океанах, что обусловлено совместным воздействием истощения озонового слоя над Антарктикой и изменениями поля температуры в атмосфере, связанными с увеличением концентраций парниковых газов. Это изменение в Южной кольцевой моде хорошо воспроизводится климатическими моделями и имеет последствием уменьшение переноса атмосферного тепла на Антарктический континент. Тем не менее, на Антарктическом полуострове еще продолжается быстрое потепление, поскольку он простирается достаточно далеко на север, чтобы находиться под влиянием теплых воздушных масс в поясе западных ветров.

Глоссарий

Глоссарий

Редактор:

Серж Плантон (Франция)

При цитировании настоящего Глоссария следует указывать:

МГЭИК, 2013 г.: Глоссарий [С. Плантон (редактор)]. Содержится в публикации *Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата* [Стоккер, Т.Ф., Д. Цинь, Дж.-К. Платтнер, М. Тигнор, С. К. Аллен, Дж. Бошунг, А. Науэлс, Ю. Ся, В. Бекс и П. М. Мидглей (редакторы)]. Кембридж юниверсити пресс, Кембридж, Соединенное Королевство, и Нью-Йорк, США.

В данном Глоссарии некоторые конкретные термины определены так, как ведущие авторы хотят толковать их в контексте настоящего доклада. Выделение слов красным курсивом означает, что данному термину дается определение в Глоссарии.

Автотрофное дыхание *Дыхание фотосинтезирующих* (см. *Фотосинтез*) организмов (например растений и водорослей).

Активированный уголь Вещество, образующееся в результате коксования *биомассы*, обычно с сохранением определенной микроскопической текстуры, характерной для тканей растений; в химическом плане оно состоит главным образом из углерода с нарушенной графической структурой, при меньшем содержании кислорода и водорода.

Активный слой Слой грунта, подвергающийся ежегодному таянию и замораживанию в местах, под которыми находится *многолетняя мерзлота*.

Адвекция Перенос воды или воздуха с сохранением их характеристик (например, температура, химические показатели), осуществляемый ветрами или течениями. Что касается общего различия между адвекцией и *конвекцией*, то первый из этих терминов означает перенос в результате крупномасштабных перемещений *воздушных масс* или воды в океанах, в то время как конвекция описывает главным образом вертикальные перемещения, вызванные локальными факторами.

Альbedo Доля *солнечной радиации*, отраженная поверхностью или предметом, часто выражаемая в процентах. Поверхности, покрытые снегом, характеризуются высоким альbedo; альbedo почв варьируется от высокого до низкого; и поверхности, покрытые растительностью, а также океаны характеризуются низким альbedo. Планетарное альbedo Земли варьируется, главным образом, в результате изменения облачности, снежного и ледяного покрова, листовой поверхности и растительного покрова.

Альтиметрия Метод измерения высоты поверхности Земли относительно центра масс Земли в определенной земной системе координат (геоцентрической уровень моря).

Ансамбль Подборка модельных имитаций, характеризующая *предсказание климата* или *проекцию*. Различия в начальных условиях и формулировании модели приводят к разным эволюциям смоделированной системы и могут сообщить информацию о *неопределенности*, связанной с ошибкой модели или ошибкой в начальных условиях в случае *прогнозов климата*, а также о неопределенности, связанной с ошибкой модели и с внутренней *изменчивостью климата* в случае климатических проекций.

Атлантическое мультидекадная осциляция/изменчивость (АМО/АМИ) Многодекадное (65–75 лет) колебание в Северной Атлантике, во время которого *температура поверхности океана* характеризовалась теплыми фазами, приблизительно с 1860 по 1880 гг. и с 1930 по 1960 гг., и холодными фазами с 1905 по 1925 гг. и с 1970 по 1990 гг., с диапазоном колебания порядка 0,4 °C. См. Индекс АМО, вставка 2.5.

Атмосфера Газовая оболочка, окружающая Землю. Сухая атмосфера состоит практически целиком из азота (78,1 % *состава смеси по объему*) и кислорода (20,9 % *состава смеси по объему*), а также ряда газовых примесей, таких как аргон (0,93 % *состава смеси по объему*), гелий и радиационно активные *парниковые газы*, такие как *диоксид углерода* (0,035 % *состава смеси по объему*) и *озон*. Помимо этого, атмосфера содержит водяной пар, являющийся парниковым газом, количество которого варьируется в широких пределах, но, как правило, составляет около 1 % *состава смеси по объему*. Атмосфера содержит также облака и *аэрозоли*.

Атмосферная фракция Фракция суммарных выбросов *CO₂* (в результате сжигания ископаемого топлива или изменений в землепользовании), остающаяся в *атмосфере*.

Антропогенный Являющийся результатом или продуктом деятельности человека.

Аэрозоль Взвесь находящихся в воздухе твердых или жидких частиц, размер которых обычно составляет от нескольких нанометров до 10 мкм и которые сохраняются в *атмосфере* как минимум несколько часов. Для удобства пользования термин *аэрозоль*, который включает как частицы, так и газ с частицами во взвешенном состоянии, часто приводится в этом докладе во множественном числе для обозначения аэрозольных частиц. Аэрозоли могут быть как естественного, так и *антропогенного* происхождения. Аэрозоли могут воздействовать на *климат* несколькими путями: непосредственно путем рассеивания и поглощения излучения (см. *Взаимодействие между аэрозолем и радиацией*) и косвенно, действуя в качестве *облачных ядер конденсации* или *ледяных ядер*, изменяя оптические свойства и *время жизни* облаков (см. *Взаимодействие между аэрозолем и облаками*).

Базовое/исходное состояние Базовое (или исходное) состояние – это состояние, относительно которого оценивается изменение. *Базовый период* – это период, по которому рассчитываются аномалии. Базовая концентрация газовых примесей – это концентрация, которая измеряется в месте, которое не подвергается воздействию местных *антропогенных* выбросов.

Байесовский метод/подход Байесовский метод – это метод, при помощи которого статистический анализ неизвестного или неопределенного количества (количества) осуществляется в два этапа. Во-первых, на основе существующих знаний формулируется априорное распределение вероятностей для неопределенного количества (количества) (либо с помощью экспертных оценок, либо с помощью существующих данных и результатов исследований). На этом первом этапе на выбор может повлиять элемент субъективности, однако во многих случаях априорное распределение вероятностей может выбираться по возможности наиболее нейтральным образом, чтобы не повлиять на конечный результат анализа. На втором этапе используются вновь полученные данные, чтобы обновить априорное распределение и получить из него апостериорное распределение. Обновление осуществляется либо посредством аналитического расчета, либо посредством численной аппроксимации с использованием при этом теоремы, сформулированной английским математиком Томасом Байесом (1702–1761 гг.) и названной в его честь.

Баланс/бюджет массы (ледников или ледяных щитов) Баланс между накоплением массы ледяного образования (*аккумуляция*) и потерей массы (*абляция* и *откалывание* айсбергов) в течение заявленного периода времени, который часто составляет год или сезон. Баланс точечной массы означает баланс массы в конкретном месте на *леднике* или *ледяном щите*. Баланс поверхностной массы – это разница между аккумуляцией на поверхности и абляцией с поверхности. Для обозначения входных и выходных элементов баланса массы используются следующие термины:

Аккумуляция Все процессы, которые увеличивают массу ледника. Главным источником для аккумуляции является снегопад. Аккумуляция включает также отложение инея, переохлажденный дождь, другие виды твердых осадков, переносимый ветром снег и сход снежных лавин.

Абляция Процессы на поверхности, в результате которых уменьшается масса ледника. Главной причиной абляции является таяние, сопровождаемое *стоком*, однако на некоторых ледниках также существенными процессами абляции являются сублимация, потеря переносимого ветром снега и сход снежных лавин.

Расход/убыль Потеря массы в результате откалывания айсберга или расхода льда по *линии налегания* плывущего *шельфового ледника*. Хотя они часто трактуются в качестве термина “абляция”, в настоящем докладе такие понятия, как откалывание айсбергов и расход рассматриваются в качестве не связанных с абляцией на поверхности.

Биологический насос Процесс переноса углерода из поверхностных слоев океана в его глубины в результате первичной продукции морского фитопланктона, который посредством *фотосинтеза* преобразует растворенный неорганический углерод (РНУ) и питательные вещества в органическое вещество. Этот естественный цикл ограничивается в первую очередь наличием света и таких питательных веществ, как фосфат, нитрат и кремниевая кислота, а также таких питательных микроэлементов, как железо. См. также *Насос растворимости*.

Биомасса Общая масса живых организмов на данной площади или в данном объеме; в мертвую биомассу можно включать мертвый растительный материал. *Сжигание биомассы* – это сжигание живой или мертвой растительности.

Биом Биом – это основной и определенный региональный элемент *биосферы*, состоящий обычно из нескольких *экосистем* (например, *леса*, реки, водоемы, болота в пределах *региона*). Биомы характеризуются типичными сообществами растений и животных.

Биосфера (земная и морская) Часть системы Земля, охватывающая все *экосистемы* и живые организмы в *атмосфере*, на суше (*наземная биосфера*) или в океанах (*морская биосфера*), а также производное мертвое органическое вещество, такое как подстилка, почвенный органический материал и океанический детрит.

Блокирующий фактор Связан с устойчивыми, медленно перемещающимися системами высокого давления, которые препятствуют преобладающим западным ветрам в средних и высоких широтах и нормальному продвижению внетропической кратковременных штормовых систем в восточном направлении. Это важный компонент внутрисезонной *изменчивости климата* во внетропических широтах, который может стать причиной длительных метеорологических условий, таких как сильные морозы зимой и *волны тепла* летом.

Быстрое динамическое изменение (ледников или ледяных щитов) Изменения массы *ледника* или *ледяного щита*, зависящее, скорее, от изменений скорости стока и *расхода*, а не от *аккумуляции* или *абляции*. Это может привести к более высокой скорости изменения массы по сравнению с тем изменением, которое вызывается дисбалансом между аккумуляцией и абляцией. Быстрое динамическое изменение может быть инициировано климатическим фактором, таким как вторжение теплых океанских вод в пространство под *шельфовым ледником* или утончением сидящего на мели омываемого языка ледника, что может привести к реакции ледниковой системы, следствием которой может стать быстрая потеря массы льда. См. также *Баланс/бюджет массы (ледников или ледяных щитов)*.

Быстрое изменение климата См. *Резкое изменение климата*.

Быстрая подстройка Реакция на фактор, вызывающий возмущение *климатической системы*, которое является прямым результатом воздействия данного фактора независимо от какого-либо изменения *средней глобальной приземной температуры*. Например, *двуокись углерода* и *аэрозоли* в результате изменения ими темпов внутреннего нагрева или охлаждения в пределах *атмосферы* могут по отдельности вызывать изменения облачного покрова и других переменных, вызывая таким образом *радиационный эффект* даже при отсутствии какого-либо потепления или охлаждения поверхности. Подстройки являются быстрыми в том смысле, что они могут начинаться незамедлительно, до возникновения *климатических обратных связей*, которые возникают под воздействием потепления (хотя для завершения некоторых подстроек может потребоваться тем не менее значительное время, например для подстроек, связанных с растительностью или *ледяными щитами*). Это также называется *быстрым реагированием* или *быстрой подстройкой*. Более подробное объяснение этой концепции см. в разделах 7.1 и 8.1.

Валовая первичная продукция (ВПП) Количество углерода, связанного автотрофными организмами, (например, растения и водоросли).

Взаимодействие между аэрозолем и облаками Процесс, в результате которого возмущение *аэрозоля* затрагивает микрофизические свойства и эволюцию облаков, поскольку аэрозоль играет роль *облачного ядра конденсации* или ледяного ядра, особенно из-за воздействия на радиацию или осадки; подобные процессы могут также включать воздействие облаков и осадков на аэрозоль. Возмущение аэрозоля может быть *антропогенным* или может быть вызвано естественным *источником*. *Радиационное воздействие* в результате подобных взаимодействий традиционно объяснялось множественными *косвенными эффектами аэрозолей*, однако в настоящем докладе проводится различие только между двумя уровнями радиационного воздействия (или эффекта):

Радиационное воздействие (или эффект), вызванное взаимодействиями между аэрозолем и облаками (РВвао) Радиационное воздействие (или *радиационный эффект*, если возмущение имеет внутреннее происхождение), вызванное изменением количества или размера распределения облачных капель или кристаллов льда, которое является прямым результатом возмущения аэрозоля, при этом другие переменные (в частности, общее содержание облачной воды) остаются равными. В облаках из жидких капель увеличение концентрации облачных капель и площади поверхности приведет к усилению *альбедо* облаков. Этот эффект известен также как *эффект альбедо облаков*, *первый косвенный эффект* или *эффект Туми*. Это в значительной мере теоретическая концепция, от которой невозможно быстро отказаться при проведении наблюдений или при использовании комплексных моделей процессов вследствие быстроты и повсеместности *быстрых подстроек*.

Эффективное радиационное воздействие (или эффект) в результате взаимодействий между аэрозолем и облаками (ЭРВвао) Конечное радиационное воздействие (или эффект) в результате возмущения аэрозоля, включая быстрые подстройки к первоначальному изменению темпов формирования капель или кристаллов. Эти подстройки включают изменение силы *конвекции*, эффективности осадков, доли облачности, *срока жизни* или содержания воды в облаках, а также формирование или ликвидацию облачности в отдаленных районах в результате изменившихся циркуляций.

Суммарное эффективное радиационное воздействие в результате взаимодействий как между аэрозолем и облаками, так и между аэрозолем и радиацией называется *эффективным радиационным воздействием аэрозоля (ЭРВвао+вар)*. См. также *Взаимодействие между аэрозолем и радиацией*.

Вентиляция Обмен свойств океана с *поверхностным слоем* атмосферы, при котором концентрации свойств приближаются к равновесным значениям с *атмосферой* (AMS, 2000), и процессами, которые способствуют передаче этих свойств в глубины океана.

Вертикальный градиент Скорость изменения атмосферной переменной, обычно температуры, с высотой. Вертикальный градиент считается положительным, если переменная с высотой уменьшается.

Взаимодействие между аэрозолем и радиацией Прямое взаимодействие *аэрозоля* с радиацией вызывает *радиационные эффекты*. В настоящем докладе проводится различие между двумя уровнями радиационного воздействия (или эффекта):

Радиационное воздействие (или эффект) в результате взаимодействий между аэрозолем и радиацией (РВвар) *Радиационное воздействие* (или радиационный эффект, если возмущение имеет внутреннее происхождение) возмущения аэрозоля в результате прямых взаимодействий между аэрозолем и радиацией, при этом все экологические переменные остаются незатронутыми. Традиционно известно в литературе как *прямое аэрозольное воздействие (или эффект)*.

Эффективное радиационное воздействие (или эффект) в результате взаимодействий между аэрозолем и радиацией (ЭРВвар) Конечное радиационное воздействие (или эффект) в результате возмущения аэрозоля, включая *быстрые трансформации* первоначального изменения радиации. Эти трансформации включают изменения облачности, вызванные воздействием радиационного нагрева на конвективные или крупномасштабные атмосферные циркуляции, традиционно известные как *полупрямое аэрозольное воздействие (или эффект)*.

Суммарное эффективное радиационное воздействие в результате взаимодействий как между аэрозолем и облаками, так и аэрозолем и радиацией, именуется *эффективным радиационным воздействием аэрозоля (ЭРВвар+вао)*. См. также *Взаимодействие между аэрозолем и облаками*.

Внешнее воздействие Внешнее воздействие относится к воздействующему фактору вне *климатической системы*, вызывающему изменение в этой системе. К внешним воздействиям относятся извержения вулканов, солнечная изменчивость

и *антропогенные* изменения в составе *атмосферы* и *землепользовании*. Орбитальное воздействие также является внешним воздействием, поскольку *инсоляция* меняется в зависимости от отклонения орбитальных параметров - эксцентриситета, склонения и при прецессии равноденствия.

Внетропический циклон Крупномасштабный (порядка 1000 км) шторм в средних или высоких широтах с низким давлением в центре и фронтами, характеризующимися значительными горизонтальными градиентами температуры и влажности. Главная причина экстремальных скоростей ветра и сильных осадков, особенно в зимнее время.

Внутренняя изменчивость См. *Изменчивость климата*.

Внутритропическая зона конвергенции (ВТЗК) Внутритропическая зона конвергенции – это экваториальный зональный пояс низкого давления, сильной *конвекции* и сильных осадков вблизи экватора, где северо-восточные пассаты встречаются с юго-восточными пассатами. Эта полоса перемещается соответственно сезону.

Водная масса Объем океанской воды с определяемыми свойствами (температура, соленость, плотность, химические показатели), являющимися результатом уникального процесса ее образования. Водные массы часто определяются через вертикальный или горизонтальный экстремум такого свойства, как соленость. Примерами водных масс являются промежуточные воды северной части Тихого океана (ПВСТО) и антарктические промежуточные воды (АПВ).

Водный цикл См. *Гидрологический цикл*.

Водная масса Объем океанской воды с определяемыми свойствами (температура, соленость, плотность, химические показатели), являющимися результатом уникального процесса ее образования. Водные массы часто определяются через вертикальный или горизонтальный экстремум такого свойства, как соленость. Примерами водных масс являются промежуточные воды северной части Тихого океана (NPIW- ПВСТО) и антарктические промежуточные воды (AAIW - АПВ).

Возвращаемое значение Наибольшее (или, как вариант, наименьшее) значение данной переменной, в среднем встречающееся один раз за данный период времени (например, за 10 лет). См. также *Период повторяемости*.

Воздушная масса Обширная часть атмосферы, приблизительно однородные свойства которой (1) определяются нахождением над конкретным *регионом* поверхности Земли, и (2) подвергаются специфическим изменениям при перемещении из региона источника (AMS, 2000).

Водный эквивалент снега (ВЭС) Объем жидкой воды, которая образовалась бы, если бы полностью растаяла масса снега.

Волна тепла Период аномально и некомфортно жаркой погоды. См. также *Потепление*.

Время жизни Время жизни является общим термином, используемым для различных временных масштабов, который характеризует скорость процессов, влияющих на концентрацию газовых примесей. Могут различаться следующие времена жизни:

Время круговорота (T) (именуемое также *глобальным временем жизни*) – это соотношение между массой *M резервуара* (например, газообразное соединение в *атмосфере*) и общей скоростью его удаления *S* из накопителя: $T = M / S$. Для каждого процесса удаления может определяться отдельное время круговорота. В биологии почвенного углерода это называется *средним временем пребывания*.

Время подстройки или время реагирования (T_d) – это временной масштаб, характеризующий затухание мгновенного импульса, поступившего в резервуар. Термин *время подстройки* используется также для описания изменения массы резервуара после ступенчатого изменения мощности *источника*. Для количественного определения процесса разложения первого порядка используется *постоянная полураспада* или *распада*. Другое определение, относящееся к колебаниям *климата*, см. в разделе *Время реагирования*.

Для простоты иногда вместо *времени подстройки* используется термин *время жизни*.

В простых случаях, когда полное удаление соединения прямо пропорционально общей массе резервуара, время подстройки равно времени круговорота: $T = T_d$. Примером является *ХФУ-11*, который удаляется из атмосферы только в результате фотохимических процессов в *стратосфере*. В более сложных случаях, когда в процессе участвует несколько резервуаров или когда удаление непропорционально общей массе, равенство $T = T_d$ больше не соблюдается. Крайним примером является *диоксид углерода (CO₂)*. Время его круговорота составляет всего около четырех лет в силу быстрого процесса обмена между атмосферой и океаном и земной биотой. Однако по прошествии нескольких лет большая часть CO₂ возвращается в атмосферу. Таким образом, время подстройки CO₂ в атмосфере фактически определяется скоростью удаления углерода из поверхностного слоя океанов и его перемещения в более глубокие слои. Хотя время подстройки CO₂ в атмосфере может составлять приблизительно 100 лет, фактическая подстройка происходит быстрее на начальном этапе и медленнее на последующих этапах. В случае *метана (CH₄)* время подстройки отличается от времени круговорота, поскольку удаление происходит главным образом за счет химической реакции с радикалом гидроксильной группы OH, концентрация которого зависит от концентрации CH₄. Поэтому скорость удаления метана *S* непропорциональна его общей массе *M*.

Время жизни в атмосфере См. *Время жизни*.

Время круговорота См. *Время жизни*.

Время реагирования Время реагирования или *время подстройки* – это время, которое требуется *климатической системе* или ее компонентам для того, чтобы снова уравновеситься в новом состоянии после прекращения воздействия, обусловленного внешними процессами. Оно весьма различается для различных компонентов климатической системы. Время реагирования *тропосферы* относительно короткое – от дней до недель, тогда как *стратосфера* достигает равновесное состояние во временном масштабе, как правило, за несколько месяцев. В силу их большой теплоемкости время реагирования океанов является гораздо более длительным: обычно десятилетия, а иногда до столетий или тысячелетия. Поэтому время реагирования весьма сопряженной системы “поверхность–тропосфера” является коротким по сравнению со временем реагирования стратосферы и определяется главным образом океанами. *Биосфера* может реагировать быстро (например, на *засухи*), однако ее реагирование на изменения в результате воздействий также является весьма медленным. См. *время жизни* для другого определения времени реагирования применительно к скорости процессов, влияющих на концентрацию газовых примесей.

Выбросы, обусловленные ископаемым топливом Выбросы *парниковых газов* (в частности, *диоксида углерода*), других газовых примесей и *аэрозолей* в результате сжигания топлива, добытого из залежей ископаемого углеродного топлива, например нефти, природного газа и угля.

Выводной ледник *Ледник*, обычно находящийся между скальными стенами, который является частью *ледяного щита* и его стоком. См. также *Ледяной поток*.

Галоидоуглеводороды Собирательный термин для группы частично галогенированных органических соединений, который включает хлорфторуглероды (ХФУ), гидрохлорфторуглероды (ГХФУ), гидрофторуглероды (ГФУ), галлоны, метилхлорид и метилбромид. Многие из галоидоуглеводородов обладают *потенциалами глобального потепления*. Хлор- и бромсодержащие галоидоуглеводороды также участвуют в истощении *озонового слоя*.

Галоклин Слой в столбе океанской воды, в котором соленость быстро меняется в зависимости от глубины. Обычно более соленая вода является более плотной и находится ниже слоя менее соленой воды. В некоторых частях океана в высоких широтах поверхностные воды могут быть холоднее глубинных вод, и задача галоклина заключается в поддержании стабильности столба воды и изолировании поверхностных вод от глубинных вод. См. также *Термоклин*.

Галостерический См. *Изменение уровня моря*.

Геоид Эквипотенциальная поверхность, имеющая одинаковый геопотенциал на каждой широте и долготе во всем мире (геодезисты обозначают этот потенциал посредством W_0), которая лучше всего аппроксимирует *средний уровень моря*. Она является эталонной поверхностью для измерения высоты. На практике существует несколько вариантов определения геоида в зависимости от того, каким образом в геодезических исследованиях рассматривается постоянный прилив (гравитационный прилив с нулевой частотой под воздействием Солнца и Луны).

Геоинжиниринг Геоинжиниринг означает широкий набор методов и технологий, целью которых является преднамеренное изменение *климатической системы*, с тем чтобы смягчить воздействия *изменения климата*. Задачей большинства, но не всех этих методов является либо (1) уменьшение количества поглощенной солнечной энергии в климатической системе (*Регулирование солнечной радиации*) или (2) увеличение числа чистых поглотителей углерода из *атмосферы* в масштабе, достаточно крупном для того, чтобы изменить *климат (удаление диоксида углерода)*. Главное значение имеют масштаб и целенаправленность. Двумя ключевыми характеристиками методов геоинжиниринга, вызывающими особую озабоченность, является то, что они используют или затрагивают климатическую систему (например, атмосферу, сушу или океан) в глобальном или региональном масштабах и/или могли бы оказывать существенные непреднамеренные воздействия за пределами национальных границ. Геоинжиниринг отличается от изменения погоды или экологического инжиниринга, однако граница может быть нечеткой (IPCC, 2012, p. 2).

Геострофические ветры или течения Ветер или течение, находящиеся в равновесии с горизонтальным градиентом давления и силой Кориолиса и поэтому не попадающие под влияние трений. Таким образом, данный ветер или течение прямо параллельны изобарам, а их скорость пропорциональна горизонтальному градиенту давления.

Гетеротрофное дыхание Преобразование органического вещества в *диоксид углерода* организмами, иными нежели автотрофные организмы.

Гидроклимат Часть *климата*, относящаяся к гидрологии *региона*.

Гидрологический цикл Цикл, во время которого вода испаряется из океанов и с поверхности суши, переносится над Землей в результате атмосферной циркуляции в виде водяного пара, конденсируется, формируя облака, выпадает над океаном и суши в виде дождя или снега, которые могут быть перехвачены на суше деревьями и растительностью, образует *сток* на поверхности суши, проникает в почву, пополняет грунтовые воды, стекает в водооток и в конечном итоге впадает в океаны, из которых она будет вновь испаряться. Различные системы, участвующие в гидрологическом цикле, обычно называются гидрологическими системами.

Гидросфера Компонент *климатической системы*, состоящий из поверхностных и подземных вод в жидком состоянии, таких как океаны, моря, реки, пресноводные озера, подземные воды и т.д.

Гипсометрия Распределение участков земной поверхности суши или льда с учетом их высоты.

Глобальное потускнение Глобальное потускнение означает масштабное уменьшение *солнечной радиации*, достигшей поверхности Земли приблизительно с 1961 по 1990 гг.

Голоцен Голоценовый период — это последний из двух периодов в *Четвертичной* системе, который начался 11,65 тыс. лет тому назад (до 1950 г.) и продолжается в настоящее время. Он известен также как *Морская изотопная стадия (МИС) 1* или *текущий межледниковый период*.

Городской остров тепла (ГОТ) Относительно более теплые условия в городе по сравнению с окружающими сельскими районами, связанные с изменениями в *стоке*, воздействиями на удержание тепла и изменениями *альbedo* поверхности.

ГФУ См. *Галоидоуглеводороды*.

ГФХУ См. *Галоидоуглеводороды*.

Дальняя корреляционная связь Статистическая связь климатических переменных между весьма удаленными друг от друга, географически

зафиксированными территориальными зонами. Источником дальних корреляционных связей являются огромные пространственные структуры, такие как сопряженные модели изменчивости *океана/атмосферы* в масштабах бассейна, волновая система Россби, струйные течения в средних широтах и *траектории циклонов* и т. д. См. также *Модель корреляционной связи*.

Даунскейлинг Даунскейлинг — это метод получения информации местного-регионального масштаба (10–100 км) посредством более крупномасштабных моделей или анализов данных. Существуют два основных метода: *динамический даунскейлинг* и *эмпирический/статистический даунскейлинг*. Динамический метод использует выходные данные *региональных моделей климата*, глобальных моделей с переменным пространственным разрешением или глобальных моделей с высоким разрешением. Посредством методов эмпирического/статистического даунскейлинга получают статистические зависимости, которые связывают крупномасштабные атмосферные переменные с переменными местного/регионального климата. Во всех случаях качество рабочей модели по-прежнему является существенным ограничением для качества информации, детализация которой повышается посредством даунскейлинга.

Диапазон модели Пределы или диапазон результатов, полученных при помощи *климатических моделей*, таких как результаты, собранные для этапа 5 Проекта по сравнению сопряженных моделей (CMIP5). Это не обязательно обеспечивает всеобъемлющую и формальную оценку *неопределенности в обратных связях*, воздействию или *проекциях*, даже когда они выражены в цифровой форме, например, посредством расчета стандартного отклонения ответных реакций моделей. Для количественного определения неопределенности требуется сводная информация о результатах наблюдений, физических ограничениях и мнениях экспертов, с использованием при этом статистической базы.

Диатомеи Водоросли, размер которых сравним с частицами ила, живущие в поверхностных водах озер, рек и океанов и образующие матовые раковины. Распространение их видов в больших глубинах океана часто

Диоксид углерода (CO₂) Газ естественного происхождения, а также побочный продукт сгорания ископаемых видов топлива из ископаемых углеводородистых отложений, таких как нефть, газ и уголь, сгорания *биомассы*, изменений в *землепользовании* и промышленных процессов (например, производство цемента). Он является основным *антропогенным парниковым газом*, влияющим на радиационный баланс Земли. Это эталонный газ, по которому измеряются другие парниковые газы, и поэтому его *потенциал глобального потепления* равен 1.

Динамическая система Процесс или совокупность процессов, эволюция которых во времени определяется набором детерминированных физических законов. *Климатическая система* является динамической системой. См. также *Резкое изменение климата*, *Хаотичный*, *Нелинейность* и *Предсказуемость*.

Длинноволное излучение См. *Земная радиация*.

Доиндустриальный См. *Промышленная революция*.

Достоверность Обоснованность вывода, определяемая типом, количеством, качеством и последовательностью доказательств (например, механистическое понимание, теория, данные, модели, экспертное заключение) и степень согласованности. Достоверность выражается количественными показателями (Mastrandrea et al., 2010). Степени достоверности см. рис. 1.11, а перечень количественных показателей *правдоподобия* см. таблицу 1.1. См. также *Неопределенность*.

Древесные кольца Концентрические кольца вторичной древесины, видимые при поперечном разрезе ствола древесного растения. Разница между плотной, межклеточной древесиной одного сезона и крупноклеточной весенней древесиной следующей весны позволяет оценить возраст дерева, а ширину или плотность колец можно связать с такими параметрами климата, как температура и количество осадков. См. также *Косвенный показатель*.

Дыхание Процесс, посредством которого живые организмы преобразуют органическое вещество в *диоксид углерода*, высвобождая энергию и потребляя молекулярный кислород.

Единица Добсона (ЕД) Единица измерения общего количества *озона* в вертикальном столбе над поверхностью Земли (*общее содержание озона в вертикальном профиле атмосферы*). Количество единиц Добсона – это толщина, измеренная в единицах 10^{-5} м, которую имел бы столб озона, если бы он был сжат в слой равномерной плотности при давлении 1013 гПа и температуре 0 °С. Одна ЕД соответствует столбу озона, содержащему 2,69 – 10^{20} молекул на квадратный метр. Типовое значение количества озона в столбе *атмосферы* Земли – 300 ЕД, однако оно весьма вариабельно.

Жаркий период Период аномально жаркой погоды. Соответствующие индексы см. во вставке 2.4. См. также *Волна тепла*.

Закисление океана Окисление океана означает понижение *pH* океана в течение длительного периода времени, обычно десятилетий или более того, которое вызывается главным образом *поглощением диоксида углерода* из *атмосферы*, однако также может быть вызвано добавлением или извлечением других химических веществ из океана. *Антропогенное закисление океана* означает уменьшение компонента pH, вызванное деятельностью человека (IPCC, 2011, p. 37).

Закись азота (N₂O) Один из шести *парниковых газов*, выбросы которых подлежат сокращению в соответствии с *Киотским протоколом*. Главным *антропогенным источником* закиси азота является сельское хозяйство (почва и уборка, хранение и использование навоза), но важная доля приходится также на очистку сточных вод, сжигание ископаемых видов топлива и химические промышленные процессы. Закись азота образуется также естественным образом из целого ряда биологических источников в почве и воде, особенно в результате действия микроорганизмов во влажных тропических *лесах*.

Запас См. *Резервуар*.

Запасы воды на суше Вода, хранящаяся на суше, помимо воды в *ледниках* и *ледяных щитах* (то есть вода, хранящаяся в реках, озерах, водно-болотных угодьях, vadозной зоне, водоносных горизонтах, резервуарах, снеге и *многолетней мерзлоте*). Изменения в запасах воды суши, вызванные климатом и деятельностью человека, способствуют *изменению уровня моря*.

Засуха Период аномально сухой погоды, достаточно длительный для того, чтобы вызвать серьезный гидрологический дисбаланс. Засуха – это относительный термин, и поэтому при любом обсуждении с точки зрения дефицита осадков необходимо указывать конкретный обсуждаемый вид деятельности, связанной с осадками. Например, нехватка осадков в вегетационный период ухудшает урожайность сельскохозяйственных культур или функционирование *экосистемы* в целом (в результате засухи, влияющей на *влажность почвы*, именуемой также *сельскохозяйственной засухой*), а в период *речного стока* и фильтрации стока сказывается на водоснабжении (*гидрологическая засуха*). На изменения запасов почвенной влаги и подземных вод также влияет усиление фактической *эвапотранспирации* в сочетании с сокращением объема осадков. Период аномального дефицита осадков определяется как *метеорологическая засуха*. *Мегазасуха* – это весьма продолжительная и повсеместная засуха, которая длится гораздо дольше обычного, как правило десять или более лет. Соответствующие индексы см. во вставке 2.4.

Землепользование и изменения в землепользовании *Землепользование* означает совокупность мероприятий, деятельности и вводимых ресурсов в пределах данного вида растительного покрова (комплекс работ, выполняемых людьми). Термин *землепользование* также используется в значении социально-экономических задач, для решения которых осуществляется управление земельными ресурсами (например, организация пастбищного хозяйства, заготовка лесоматериалов и охрана природы). *Изменения в землепользовании* – это изменения методов использования или управления земельными ресурсами людьми, которые могут привести к изменению растительного покрова. Изменение растительного покрова и практики землепользования может сказаться на *альбедо поверхности*, *эвапотранспирации*, *источниках* и *поглотителях парниковых газов* или других свойствах *климатической системы* и, как следствие, оказать радиационное воздействие и/или другое влияние на *климат* на местном или глобальном уровне. См. также доклад МГЭИК “Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство” (МГЭИК, 2000 год).

Земная радиация Радиация, испускаемая поверхностью Земли, *атмосферой* и облаками. Она известна также под названием *тепловой инфракрасной* или *длинноволновой радиации*, и ее необходимо отличать от ближнего инфракрасного излучения, являющегося частью солнечного спектра. *Инфракрасное излучение*, в целом, имеет четко определенный диапазон длин волн (*спектр*), который больше, чем длина волны красного цвета видимой части спектра. Спектр земной радиации практически полностью отличается от спектра коротковолнового излучения или *солнечной радиации*, что обусловлено разницей температуры между Солнцем и системой Земля–атмосфера. См. также *Исходящее длинноволновое излучение*.

Зона конвергенции в южной части Тихого океана (ЗКЮТ) Полоса на нижнем уровне конвергенции, облачности и осадков, простирающаяся от теплых вод западной части Тихого океана в юго-восточном направлении к Французской Полинезии, которая является одной из наиболее значительных характеристик субтропического *климата* Южного полушария. Она имеет некоторые общие характеристики с *ВТЗК*, однако является более внетропической по своему характеру, особенно к востоку от линии смены дат.

Иерархия моделей См. *Модель климата* (спектр или иерархия).

Изменение климата Изменение климата означает изменение состояния *климата*, которое может быть определено (например, с помощью статистических тестов) через изменения в средних значениях и/или вариабельности его параметров и которое сохраняется в течение длительного периода, обычно десятилетий или больше. Изменение климата может быть вызвано естественными внутренними процессами или *внешними воздействиями*, такими как модуляции *солнечных циклов*, извержения вулканов и продолжительные *антропогенные* изменения в составе *атмосферы* или в землепользовании. Следует иметь в виду, что *Рамочная конвенция об изменении климата (РКИКООН)* в своей статье 1 определяет изменение климата следующим образом: “... изменение климата, которое прямо или косвенно обусловлено деятельностью человека, вызывающей изменения в составе глобальной атмосферы и накладывающейся на естественные *колебания климата*, наблюдаемые на протяжении сопоставимых периодов времени”. Таким образом, РКИКООН проводит различие между изменением климата, обусловленным деятельностью человека, изменяющей состав атмосферы, и изменчивостью климата, обусловленной естественными причинами. См. также *Неизбежность изменения климата*, *Обнаружение и установление причин наблюдаемых изменений*.

Изменчивость климата Изменчивость климата означает колебания среднего состояния и других статистических параметров (таких, как средние квадратичные отклонения, встречаемость экстремальных явлений и т.д.) *климата* во всех *пространственных и временных масштабах*, выходящих за пределы отдельных метеорологических явлений. Изменчивость может быть обусловлена естественными внутренними процессами в *климатической системе* (*внутренняя изменчивость*) или колебаниями внешнего естественного или *антропогенного воздействия* (*внешняя изменчивость*). См. также *Изменение климата*.

Изменение уровня моря Уровень моря может меняться как глобально, так и локально, вследствие (1) изменений формы бассейнов океанов, (2) изменения объема океана в результате изменения массы воды в океане, и (3) изменений объема океана в результате изменений плотности океанской воды. Изменение глобального *среднего уровня моря* в результате изменения массы океана называют *баристатическим*. Изменение показателя баристатического уровня моря вследствие добавления или удаления массы воды называется его *эквивалентом уровня моря (ЭУМ)*. Изменения уровня моря как глобально, так и локально, вызванные изменениями плотности воды, называются *стерическими*. Изменения плотности воды, вызванные только изменениями температуры, называются *термостерическими*, тогда как изменения, вызванные изменением солености, называются *галостерическими*. Баристатические и стерические изменения уровня моря не включают эффект изменений формы бассейнов океанов, вызванные изменениями массы океана и ее распределения. См. также *Относительный уровень моря* и *Тепловое расширение*.

Изостатический или изостазия Изостазия означает реакцию Земли на изменения в поверхностной нагрузке. Она включает деформационную и

гравитационную реакцию. Эта реакция является эластичной в небольших временных масштабах, равно как и реакция системы Земля–океан на недавние изменения оледенения гор или вязко-эластичной в больших временных масштабах, как и в случае реакции на *отступление льда* после *Последнего ледникового максимума*. См. также *Ледниковая изостатическая корректировка (ЛИК)*.

Изотопы Атомы одного и того же химического элемента, которые имеют такое же количество протонов, но иное количество нейтронов. Некоторые конфигурации протонов и нейтронов являются стабильными (стабильные изотопы), а другие нестабильными и находящимися в стадии спонтанного радиоактивного распада (*радиоизотопы*). Большинство элементов обладает несколькими стабильными изотопами. Изотопы могут использоваться для отслеживания процессов переноса или исследовательских процессов, в которых происходит изменения изотопного отношения. Радиоизотопы дают дополнительную временную информацию, которая может использоваться для радиометрического датирования.

Индоканский диполь (ИОД) Крупномасштабная мода межгодовой изменчивости *температуры поверхности моря* в Индийском океане. Этот режим проявляется в виде зонального градиента температуры поверхности моря в тропиках, при котором в одной экстремальной фазе осенью Северного полушария наблюдается выхолаживание у Суматры и потепление у Сомали на западе, сочетающиеся с аномальными восточными ветрами вдоль экватора.

Инициализация модели Прогноз климата обычно начинается с интегрирования *климатической модели* в будущее время из исходного состояния, которое, как предполагается, отражает актуальное состояние *климатической системы*. Имеющиеся данные наблюдений за системой климата "ассимилируются" в данную модель. Инициализация – это сложный процесс, осуществление которого ограничивается имеющимися данными наблюдений, ошибками наблюдений и, в зависимости от используемой процедуры, он может быть затронут *неопределенностью* исторических данных о климатическом воздействии. Начальные условия будут содержать ошибки, которые усугубляются по ходу работы над прогнозом, органичивая таким образом время, в течение которого данный прогноз будет полезным. См. также *Предсказание климата*.

Инсоляция Количество *солнечной радиации*, достигающее Землю по широте и по времени года и измеряемое в Вт м⁻². Обычно инсоляция обозначает радиацию, поступающую в верхние слои *атмосферы*. Иногда ее указывают как радиацию, поступающую на поверхность Земли. См. также *Общее солнечное излучение*.

Инфракрасное излучение См. *Земная радиация*.

Источник Любой процесс, вид деятельности или механизм, посредством которого в *атмосферу* поступает *парниковый газ*, *аэрозоль* или *прекурсор* парникового газа или аэрозоля.

Качество/точность предсказания Критерии успеха *предсказания* в сравнении с информацией, основанной на данных наблюдений. Не существует никакого единого критерия, который может резюмировать все аспекты качества прогноза, и рассматривается совокупность *метрик*. Метрики будут отличаться от прогнозов, представленных в детерминистической и вероятностной форме. См. также *Предсказание климата*.

Квазидвухлетнее колебание (КДК) Почти периодическое колебание экваториального зонального ветра в тропической *стратосфере* между восточными и западными ветрами со средним периодом порядка 28 месяцев. Меняющиеся максимальные ветры опускаются с основания мезосферы к *тропопаузе* и приводятся в движение ветровой энергией, которая распространяется в верхнем направлении от *тропосферы*.

Киотский протокол Киотский протокол к *Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН)* был принят на третьей сессии Конференции Сторон (КС) РКИКООН в 1997 году в Киото, Япония. Он содержит подлежащие соблюдению юридические обязательства в дополнение к тем, которые содержатся в РКИКООН. Страны, включенные в Приложение В к Протоколу (большинство стран – членов Организации экономического сотрудничества и развития и страны с переходной экономикой), согласились сократить свои выбросы *парниковых газов антропогенного происхождения* (*диоксид углерода, метан, закись азота,*

гидрофторуглероды, перфторуглероды и гексафторид серы) не менее чем на 5% ниже уровней 1990 года в течение периода действия обязательств с 2008 по 2012 годы. Киотский протокол вступил в силу 16 февраля 2005 года.

Клатрат (метан) Частично замерзшая прозрачная смесь *метанового* газа и льда, обычно находящаяся в седиментах.

Климат Климат в узком смысле этого слова обычно определяется как средний режим погоды или в более строгом смысле как статистическое описание средней величины и изменчивости соответствующих количественных параметров в течение периода времени, который может варьироваться от нескольких месяцев до тысяч или миллионов лет. Согласно определению Всемирной Метеорологической Организации классическим периодом для усреднения этих переменных является период в 30 лет. Соответствующими количественными параметрами чаще всего являются такие приземные переменные, как температура, осадки и ветер. В более широком смысле климат представляет собой состояние *климатической системы*, включая ее статистическое описание.

Климатическая обратная связь Взаимодействие, при котором возмущение одного из количественных показателей климата вызывает изменения в другом показателе, а изменение во втором количественном показателе в конечном итоге ведет к дополнительному изменению в первом показателе. Отрицательная *обратная связь* – это обратная связь, при которой первоначальное возмущение ослабляется теми изменениями, которые она вызывает; положительная обратная связь – это обратная связь, при которой первоначальное возмущение усиливается. В настоящем Оценочном докладе часто используется несколько более узкое определение, согласно которому климатической переменной, которая возмущается, является *средняя глобальная приземная температура*, что в свою очередь вызывает изменения в глобальном радиационном балансе. В обоих случаях первоначальное возмущение может быть вызвано либо внешним воздействием, либо возникнуть в результате *внутренней изменчивости*. См. также *Параметр климатической обратной связи*.

Климатический индекс Временной ряд, построенный по климатическим переменным, который дает общее резюме состояния *климатической системы*. Например, разница между показателями давления на уровне моря в Исландии и на Азорских островах показывает простой и в то же время полезный исторический индекс *САК*. Благодаря своим оптимальным характеристикам климатические индексы часто определяются при помощи *основных компонентов* – линейных комбинаций климатических переменных в разных местах, которые характеризуются максимальной дисперсией, зависящей от определенных ограничений нормализации (например, индексы *САК* и *ЮАК*, которые являются основными компонентами аномалий давления на сетке в Северном полушарии и Южном полушарии соответственно). См. вставку 2.5, где дается резюме определенных принятых индексов наблюдений. См. также *Климатический режим*.

Климатическая модель (спектр или иерархия) Численное представление *климатической системы* на основе физических, химических и биологических характеристик ее компонентов, их взаимодействий и процессов *обратной связи*, учитывающее при этом некоторые из ее известных характеристик. Климатическая система может быть представлена с помощью моделей различной сложности, т. е. для каждого из компонентов или комбинации компонентов можно найти *спектр* или *иерархию* моделей, отличающихся по таким аспектам, как число пространственных параметров, степень точности описания физических, химических и биологических процессов, или уровень эмпирических *параметризации*. *Сопряженные модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО)* дают представление климатической системы, которое по своей полноте приближается или почти достигает верхнюю границу имеющегося на данный момент спектра. Происходит эволюция в направлении более сложных моделей с использованием интерактивной химии и биологии. Климатические модели применяются в качестве инструмента исследования и моделирования *климата*, а также для оперативных целей, в том числе для месячных, сезонных и межгодовых *предсказаний климата*. См. также *Модель системы Земля, Модель системы Земля промежуточной сложности, Модель энергетического баланса, Модель на основе процессов, Модель регионального климата и Полуэмпирическая модель*.

Климатическая система Климатическая система представляет собой весьма сложную систему, состоящую из пяти основных компонентов: *атмосферы, гидросферы, криосферы, литосферы и биосферы*, и взаимодействий между ними. Климатическая система эволюционирует во времени под воздействием своей собственной внутренней динамики и в силу *внешних воздействий*, таких как извержения вулканов, колебания солнечной радиации и *антропогенные* воздействия, такие как изменение состава атмосферы и *изменения в землепользовании*.

Климатический режим Состояние *климатической системы*, которое наблюдается чаще нежели близкие к нему состояния вследствие либо более устойчивого, либо более частого повтора. Иными словами, это кластер разновидностей состояния климата, связанных с максимальным местным значением *функции плотности вероятностей*.

Климатический сценарий Правдоподобное и зачастую упрощенное представление о будущем *климате*, основанное на внутренне согласованной совокупности климатологических связей, которая была подготовлена для непосредственного использования при исследовании потенциальных последствий *антропогенного изменения климата*, часто служащего исходным элементом для моделирования последствий. В качестве исходного материала для разработки климатических сценариев часто используются *проекция климата*, однако для климатических сценариев обычно требуется дополнительная информация, например данные наблюдений за текущим климатом. *Сценарий изменения климата* – это разница между климатическим сценарием и текущим состоянием климата. См. также *Сценарий выбросов, Сценарий*.

Колебание Маддена-Джулиана (КМД) Самый крупный компонент межсезонной изменчивости атмосферы в тропиках (периоды от 30 до 90 дней). КМД движется в восточном направлении со скоростью приблизительно 5 м/с⁻¹ в виде крупномасштабного сопряжения между атмосферной циркуляцией и глубокой *конвекцией*. По мере его продвижения оно ассоциируется с большими районами как повышенных, так и меньших дождевых осадков, главным образом над Индийским океаном и западной частью Тихого океана. Каждое явление КМД продолжается приблизительно 30–60 дней, и соответственно КМД известно также под названием 30–60-дневной волны, или межсезонного колебания.

Кольцевые моды См. *Северная кольцевая мода (СКМ)* и *Южная кольцевая мода (ЮКМ)*.

Конвекция Вертикальное движение под действием гидростатических сил, возникающих в результате статической неустойчивости, обычно вызываемой приземным охлаждением или повышением солёности в случае океана и приземным потеплением или радиационным выхолаживанием верхней границы облаков в случае *атмосферы*. В атмосфере конвекция вызывает образование кучевых облаков и осадков и является эффективным фактором как распада, так и вертикального переноса химических веществ. В океане конвекция может переносить поверхностные воды в глубины океана.

Конфигурация климата Набор пространственно изменяющихся коэффициентов, полученный посредством “проектирования” (регрессии) климатических переменных в отношении временного ряда *климатического индекса*. В тех случаях когда климатический индекс является основным компонентом, конфигурация климата представляет собой собственный вектор матрицы ковариаций, который в климатологии именуется *Эмпирической ортогональной функцией (ЭОФ)*.

Коротковолновая радиация См. *Солнечная радиация*.

Корректировка потока Для предотвращения проблемы сдвига сопряженных *моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО)* к некоему нереальному состоянию *климата*, методы корректировки могут применяться к потокам тепла и влаги в системе атмосфера–океан (а иногда к поверхностным напряжениям, вызванным воздействием ветра на поверхность океана) до включения характеристик этих потоков в модель океана и атмосферы. Поскольку эти корректировки рассчитываются заранее и поэтому не имеют отношения к интегрированию сопряженной модели, они не имеют связи с аномалиями, которые возникают в процессе интегрирования.

Косвенное воздействие аэрозолей См. *Взаимодействие аэрозоля с облаками*.

Косвенный показатель Косвенный показатель *климата* – это зафиксированные данные, путем толкования которых в соответствии с физическими и биофизическими принципами формируется описание сочетания относящихся к климату вариаций в прошлые периоды времени. Относящиеся к климату данные, полученные таким путем, называются косвенными данными. Примеры косвенных данных включают данные *пыльцевого анализа, древесных колец*, спелиотемы, характеристики кораллов и разные данные, полученные из морских отложений и *ледовых кернов*. Косвенные данные могут быть калиброваны для получения количественной климатической информации.

Космогенные радиоизотопы Редкие радиоактивные *изотопы*, образующиеся при взаимодействии частиц космических лучей высокой энергии с атомными ядрами. Они часто используются в качестве индикатора *солнечной активности*, которая модулирует интенсивность космических лучей, или в качестве трассеров процессов переноса в атмосфере; их также называют *космогенными радионуклидами*.

Коэффициент смещения См. *Мольная доля*.

Краткосрочные климатические факторы (КСКФ) Краткосрочные климатические факторы (КСКФ) – это те соединения, воздействие которых на *климат* происходит главным образом в течение первых десяти лет после их выброса. В набор этих соединений входят в первую очередь соединения с коротким, по сравнению с *хорошо смешиваемыми парниковыми газами, сроком жизни* в атмосфере, и иногда их называют короткодействующими климатическими факторами или короткоживущими климатическими загрязнителями. Однако общим свойством, представляющим наибольший интерес с точки зрения оценки климата, являются те сроки, в течение которых ощущается их воздействие на климат. В число этих соединений входят *метан*, который является также хорошо смешиваемым парниковым газом, а также *озон* и *аэрозоли*, или их *прекурсоры*, и некоторые галогенированные соединения, не являющиеся хорошо смешиваемыми парниковыми газами. Эти соединения не аккумулируются в атмосфере во временных масштабах от десятилетия до столетия, и поэтому их воздействие на климат происходит в большинстве случаев в течение короткого срока после их выброса.

Криосфера Все районы на поверхности Земли и океана или под ней, где вода находится в твердом состоянии, включая *морской лед*, озерный лед, речной лед, снежный покров, *ледники* и *ледяные щиты* и *мерзлый грунт* (который включает *многолетнюю мерзлоту*).

Круговорот Горизонтальная циркуляция в масштабе бассейна океана, когда медленный поток циркулирует вокруг бассейна океана, отделенного с западной стороны сильным и узким пограничным течением (шириной 100–200 км). Субтропические круговороты в каждом океане связаны с высоким давлением в центре круговоротов; приполярные круговороты связаны с низким давлением.

Ла-Нинья См. *Эль-Ниньо – Южное колебание*.

Ледник Многолетняя масса наземного льда, которая образуется из спрессованного снега, характеризуется движением в прошлом или в настоящее время (в результате внутренней деформации и/или скольжения на основании), и ограничена в своем движении внутренним напряжением и трением по основанию и по бокам. Ледник поддерживается за счет накопления снежной массы на больших высотах, уравновешиваемого подтаиванием на малых высотах и/или сходом в море. Ледовая масса такого же происхождения, что и ледники, но материкового размера называется *ледяным щитом*. С целью упрощения все виды ледовой массы, иные нежели ледяные щиты, именуется ледниками в настоящем Оценочном докладе. См. также *Линия равновесия* и *Баланс/бюджет массы (ледников или ледяных щитов)*.

Ледниковая изостатическая корректировка (ЛИК) Деформация Земли и ее гравитационного поля вследствие реагирования системы Земля–океан на изменения ледовых и связанных с ними водных нагрузок. Иногда ее называют *гидро-гляциальной изостазией*. Она включает вертикальную и горизонтальную деформации поверхности Земли и изменения *геоида* вследствие перераспределения массы во время обмена массы лед–океан.

Ледниковые-межледниковые циклы Фаза истории Земли, отмеченная значительными изменениями объема материкового льда и глобального уровня моря. См. также *Ледниковая эпоха* и *Межледниковые периоды*.

Ледниковая эпоха Ледниковая эпоха или *ледниковый период* характеризуется долговременным понижением температуры *климата* Земли, что приводит к увеличению *ледяных щитов* и *ледников*.

Ледовый керн Ледовый цилиндр, извлеченный путем бурения из *ледника* или *ледяного щита*.

Ледяной поток Поток льда с гораздо большей скоростью потока, который является частью *ледяного щита*. Он часто отделен от окружающего его льда весьма обломанными краями с большим количеством трещин. См. также *Выводной ледник*.

Ледяной щит Масса материкового льда континентального размера, которая является достаточно толстой для покрытия большей части подстилающей породы, вследствие чего его форма определяется главным образом его динамикой (стоком льда по мере его внутренней деформации и/или скольжением по его основанию). Ледяной щит стекает с высокой части центрального ледового плато, поверхность которого имеет незначительный средний уклон. По краям уклон обычно более крутой, и лед большей частью сбрасывается через быстротекущие *ледяные потоки* или *выводные ледники*, в некоторых случаях в море или на плавающие в море *шельфовые ледники*. В современном мире есть только два ледяных щита: один на Гренландии и один на Антарктике. В ледниковые периоды были и другие ледяные щиты.

Лес Тип растительности, в которой доминируют деревья. В мире используются многочисленные определения термина *лес*, отражающие широкое разнообразие биогеофизических условий, социальные структуры и экономики. Анализ термина *лес* и связанных с ним терминов, таких как *облесение*, *лесовозобновление* и *обезлесение*, см. в Докладе МГЭИК "Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство" (МГЭИК, 2000 год). См. также доклад "Определения и методологические варианты составления кадастра выбросов в результате непосредственной антропогенной деградации лесов и исчезновения других типов растительности" (IPCC, 2003).

Лесовозобновление Насаждение *лесов* на землях, ранее находившихся под лесами, но преобразованных для использования в иных целях. Обсуждение термина *лес* и связанных с ним терминов, таких как *облесение*, *лесовозобновление* и *обезлесение*, см. в Докладе МГЭИК "Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство" (МГЭИК, 2000 год). См. также доклад "Определения и методологические варианты составления кадастра выбросов в результате непосредственной антропогенной деградации лесов и исчезновения других видов растительности" (МГЭИК, 2003 год).

Летучие органические соединения (ЛОС) Важный класс органических химических загрязнителей воздуха, которые являются летучими при естественном состоянии воздуха. Другими терминами, используемыми для представления ЛОС, являются: *гидроуглероды (ГУ)*, *химически активные органические газы (ХОГ)* и *летучие неметановые органические соединения* (НЛОС). НЛОС являются основными исходными элементами (наряду с NO_x и CO) для образования таких фотохимических окислителей, как *озон*.

Линия налегания Стык между *ледником* или *ледяным щитом* и *шельфовым ледником*; место, где лед начинает плыть. Этот стык обычно происходит скорее по определенной зоне, а не линии.

Линия равновесия Пространственно усредненная граница в данный момент, обычно выбираемая в качестве минимального сезонного *бюджета массы* в конце лета, между областью на *леднике*, где имеет место чистая годовая убыль массы льда (зона *абляции*), и областью, где имеет место чистый годовой прирост (зона *накопления*). Высоту этой границы называют высотой линии равновесия (ВЛР).

Литосфера Верхний слой твердой оболочки Земли как континентальной, так и океанической, который состоит из всех горных пород, образующих земную кору, и холодной, в основном эластичной, части верхней мантии. Вулканическая деятельность, хотя она происходит в литосфере, не считается частью *климатической системы*, но рассматривается в качестве фактора *внешнего воздействия*. См. также *Изостатический*.

Малый ледниковый период (МЛП) Промежуток времени в последнее тысячелетие, который характеризуется рядом случаев значительного увеличения площади горных *ледников* и их умеренным отступлением как в северном, так и в южном полушариях. Сроки продвижения ледников различаются в зависимости от *регионов*, и поэтому МЛП не имеет четкого определения во времени. Большинство определений относится к периоду с 1400 и 1900 гг. Имеющиеся в настоящее время *реконструкции* средней температуры в северном полушарии показывают, что самые холодные периоды в масштабе полушария могли наблюдаться в период с 1450 по 1850 гг.

Мареограф Устройство, установленное в прибрежном районе или в некоторых глубоководных местах, которое постоянно измеряет уровень моря по отношению к прилегающей суше. Усредненный во времени уровень моря, регистрируемый таким образом, дает наблюдаемые вековые изменения *относительного уровня моря*.

Межледниковья или периоды между оледенениями Теплые периоды между оледенениями в *ледниковую эпоху*. Часто определяются как периоды, в которые уровни моря были близки к нынешнему уровню моря. Для *последнего межледниковья (ПМЛ)* это произошло за приблизительно 129–116 тыс. лет до настоящего времени (определяется как 1950 год), хотя в некоторых районах этот теплый период начался раньше на несколько тысяч лет. По данным *изотопов* кислорода межледниковья определяются как интервал между средней точкой предыдущего окончания межледниковья и началом следующего. Нынешнее оледенение – *Голоцен*, началось 11,65 тыс. лет том назад, хотя глобально уровни моря достигли своего нынешнего значения только около 7 тыс. лет тому назад.

Мерзлый грунт Почва или скальная порода, в которой часть *внутрипоровой воды* или вся эта вода находится в замерзшем состоянии. Мерзлый грунт включает *многолетнюю мерзлоту*. Грунт, который замерзает и оттаивает ежегодно, называется *сезонномерзлым грунтом*.

Меридиональная опрокидывающая циркуляция (МОЦ) Меридиональная (север–юг) опрокидывающая циркуляция в океане, количественно определяемая зональными (восток–запад) суммами переноса массы в глубинных или плотных слоях. В Северной Атлантике, вдали от субполярных *регионов*, МОЦ (которая в принципе является наблюдаемым количественным параметром) часто отождествляют с *термохалинной циркуляцией* (ТХЦ), что является концептуальной и неполной интерпретацией. Необходимо помнить о том, что МОЦ также движима ветром, а также может включать в себя более мелкие опрокидывающие ячейки, такие которые встречаются в верхних слоях океана в тропиках и субтропиках, в которых теплые (легкие) воды, движущиеся в сторону полюсов, преобразуются в несколько более плотные воды, и на более глубоких уровнях *движутся* в сторону экватора.

Метаданные Информация о метеорологических и климатологических данных, в частности о том, как и когда они были получены, об их качестве, известных проблемах и других характеристиках.

Метан (CH_4) Метан – это один из шести *парниковых газов*, выбросы которых подлежат сокращению согласно *Киотскому протоколу*, и основной компонент природного газа. Связан со всеми видами углеводородного топлива, животноводством и сельским хозяйством.

Метрика Согласованное измерение характеристики объекта или вида деятельности, который иным образом сложно описать количественно. В контексте оценки *климатических моделей* это является количественной мерой согласованности между имитируемым количеством и наблюдаемым количеством, которая может служить для оценки эффективности отдельных моделей.

Минерализация/реминерализация Преобразование элемента из его органической формы в неорганическую форму посредством разложения микроорганизмами. При минерализации азота органический азот из гниющих растений и отходов животноводства (протеины, нуклеиновые кислоты, аминокислота и мочевины) преобразуются в результате биологической деятельности в аммиак (NH_3) и аммоний (NH_4^+).

Многолетняя мерзлота Грунт (почва или порода с включениями льда и органических веществ), который сохраняет температуру $0\text{ }^\circ\text{C}$ или меньше в течение как минимум двух лет подряд. См. также *Приповерхностная многолетняя мерзлота*.

Мода изменчивости климата Базовая пространственно-временная структура с преференциальной пространственной структурой и временной вариацией, которая помогает учитывать грубые свойства дисперсии и *дальних корреляционных связей*. Режим дисперсии часто не считается продуктом пространственной *климатической структуры* и соответствующих временных рядов *климатических индексов*.

Модель корреляционной связи Корреляционная карта, полученная посредством расчета корреляции между переменными в разных пространственных зонах и *климатическим индексом*. Это особый случай *климатических условий*, полученных для стандартизированных применений и стандартизированного климатического индекса, т.е. эти переменные и индекс центрируются и масштабируются для получения нулевого среднего значения и единичной дисперсии. Одноточечные карты корреляционной связи изготавливаются посредством выбора переменной в одном из мест, которое должно стать климатическим индексом. См. также *Дальняя корреляционная связь*.

Модель неподвижного океана Упрощенное представление в *климатической модели* океана как неподвижного слоя воды глубиной от 50 до 100 м. Климатические модели с неподвижным океаном могут использоваться только для оценки равновесной реакции климата на данное воздействие, но не на переходную эволюцию *климата*. См. также *Эксперимент с равновесным и переходным состоянием климата*.

Модель общей циркуляции (МОЦ) См. *Климатическая модель*.

Модель общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) См. *Климатическая модель*.

Модель, основанная на процессах Теоретические концепции и расчетные методы, которые представляют и имитируют поведение систем реального мира и разработаны на основе ансамбля функциональных компонентов и их взаимодействий друг с другом, а также с системной средой в результате происходящих во времени физических и механических процессов. См. также *Климатическая модель*.

Модель регионального климата (МРК) *Модель климата* с более высоким разрешением по ограниченному району. Подобные модели используются для *уменьшения масштаба* глобальных *климатических* результатов по конкретным региональным областям.

Модель системы Земля (МСЗ) Сопряженная *модель общей циркуляции атмосферы и океана*, в которой представлен также *углеродный цикл*, позволяющая интерактивный расчет атмосферного CO_2 или *сопоставимых выбросов*. В нее могут включаться дополнительные компоненты (например, химия атмосферы, *ледяные щиты*, динамика растительности, цикл азота, а также модели городов и сельскохозяйственных посевов). См. также *Климатическая модель*.

Модель системы Земля промежуточной сложности (МСЗПС) *Модель климата*, в которой делается попытка включения всех самых важных процессов системы Земля как и в случае МСЗ, но с меньшим *разрешением* или более простым и более приближительным образом.

Модель энергетического баланса (МЭБ) Модель энергетического баланса – это упрощенная модель, которая анализирует *энергетический бюджет* Земли для расчета изменений *климата*. В ее самом простом варианте отсутствует какой-либо четкий пространственный параметр, и в таком случае данная модель дает оценку изменений глобально усредненной температуры, рассчитанной по изменениям в радиации. Эта модель энергетического баланса с нулевым измерением может быть расширена и превращена в одномерную или двухмерную модель, если однозначно учитываются изменения в энергетическом бюджете, связанные с широтой или как с широтой, так и долготой. См. также *Климатическая модель*.

Молодой Дриас Период с 12,85 по 11,65 тыс. лет тому назад (до 1950 года), во время *дегляциации*, характеризуемый временным возвратом к более холодным условиям во многих местах, особенно вокруг Северной Атлантики.

Мольная доля Мольная доля, или *коэффициент смешения*, - это отношение числа молей определенного компонента в данном объеме к общему

числу молей всех компонентов в этом объеме. Она обычно указывается для сухого воздуха. Типичные значения для *хорошо смешиваемых парниковых газов* составляют порядка мкмоль/моль⁻¹ (частей на млн.: *ppm*), нмоль/моль⁻¹ (частей на млрд.: *ppb*), и фмоль/моль⁻¹ (частей на трлн.: *ppt*). Мольная доля отличается от *объемного соотношения компонентов*, который часто выражается в ppmv и т.д., посредством поправок на неидеальность газов. Эта поправка имеет важное значение для точности измерений в случае многих парниковых газов (Schwartz and Warneck, 1995).

Монреальский протокол Монреальский протокол по веществам, разрушающим *озоновый слой*, был принят в Монреале в 1987 году, и впоследствии в него были внесены исправления и изменения в Лондоне (1990 год), Копенгагене (1992 год), Вене (1995 год), Монреале (1997 год) и Пекине (1999 год). Он регулирует потребление и производство хлор- и бромсодержащих химических веществ, разрушающих стратосферный *озон*, таких как хлорфторуглероды, метилхлороформ, четыреххлористый углерод и многих других.

Морской лед Лед, находящийся на поверхности моря и образовавшийся в результате замерзания морской воды. Морской лед может представлять собой прерывистые образования (плавающие льдины), перемещаемые по поверхности океана ветром и течениями (паковый лед), или неподвижный щит, прикрепленный к берегу (припай). *Концентрация морского льда* – это доля океана, покрытого льдом. Морской лед, возраст которого меньше года, называется *однолетним льдом*. *Многолетний лед* – это морской лед, который переживает как минимум одно лето. Он может подразделяться на *двулетний лед* и *многолетний лед*, если многолетний лед пережил как минимум два летних периода.

Морской ледяной щит *Ледяной щит*, охватывающий значительную площадь, основание которого лежит ниже уровня моря и который по своему периметру соприкасается с океаном. Наиболее известным примером является Западно-антарктический ледяной щит.

Муссон Муссон в тропиках и субтропиках – это сезонная перемена направления поверхностного ветра на обратное и изменение связанных с ним осадков; вызвано разным нагревом частей суши континентального масштаба и прилегающего к ним океана. Муссонные дожди идут главным образом над сушей летом.

Нагрузка Общая масса потенциально опасного газообразного вещества в *атмосфере*.

Неизбежность изменения климата Вследствие тепловой инерции океана и медленных процессов в *криосфере* и на земных поверхностях *климат* продолжал бы изменяться даже если бы состав атмосферы оставался зафиксированным на сегодняшних показателях. Изменение состава атмосферы в прошлом ведет к *неизбежному изменению климата*, которое продолжается до тех пор, пока сохраняется радиационный дисбаланс и пока все компоненты *климатической системы* не пришли в соответствие с новым состоянием. Дальнейшее изменение температуры после того, как состав *атмосферы* будет зафиксирован, называется *неизбежным изменением температуры при постоянном составе атмосферы* или просто *неизбежным потеплением* или *неизбежностью потепления*. Неизбежность изменения климата включает и другие будущие изменения, например *гидрологического цикла*, *экстремальных метеорологических явлений*, *экстремальных климатических явлений*, а также *изменение уровня моря*. *Неизбежность изменения климата при постоянном уровне выбросов* – это такое неизбежное изменение климата, которое явилось бы результатом сохранения *антропогенных* выбросов на постоянном уровне, а *неизбежность изменения температуры при нулевых выбросах* – это неизбежность изменения климата в том случае, когда уровень выбросов устанавливается на нулевой отметке. См. также *Изменение климата*.

Накачивание Экмана Сила трения на поверхности между двумя текучими средами (*атмосфера* и океан) или между текущей средой и смежной с ней твердой поверхностью (поверхность Земли) вызывает циркуляцию. Если результирующий перенос массы носит конвергентный характер, то сохранение массы требует вертикального оттока с поверхности. Это явление называется накачиванием Экмана. Противоположный эффект, в случае расхождения, называется *всасыванием Экмана*. Этот эффект важен как в атмосфере, так и в океане.

“Насос растворимости” “Насос растворимости” – это важный физико-химический процесс, посредством которого неорганический углерод переносится с поверхности океана в его глубины. Этот процесс контролирует содержание углерода в океане. Растворимость газообразного диоксида углерода может менять концентрации *диоксида углерода* в океанах и *атмосферу* над ними. См. также *Биологический насос*.

Нелинейность Процесс называется *нелинейным* в том случае, если причина и следствие не связаны простой пропорциональной зависимостью. В *климатической системе* наблюдается множество таких нелинейных процессов, в результате чего ее поведение может приобретать весьма сложный характер. Подобная сложность может привести к *резкому изменению климата*. См. также *Хаотичный* и *Предсказуемость*.

Необратимость Возмущенное состояние *динамической системы* определяется как необратимое в данном временном масштабе, если временной масштаб восстановления из этого состояния в результате естественных процессов является значительно большим по сравнению с тем временем, которое необходимо данной системе для достижения этого возмущенного состояния. В контексте РГ I интерес представляет временной масштаб от столетия до тысячелетия. См. также *Переломный момент*.

Неопределенность Неполнота знаний, которая может быть результатом нехватки информации или отсутствия согласия в отношении того, что известно или даже познаваемо. Источники неопределенности могут быть самыми разными – от неточности данных до нечетко определенных концепций или терминологии или неопределенных *проекций* поведения человека. Поэтому неопределенность может быть выражена количественными единицами измерения (например, *функция плотности вероятности*) или качественными утверждениями (например, отражающими заключение группы экспертов) (см. Moss and Schneider, 2000; Manning et al., 2004; Mastrandrea et al., 2010). См. также *Достоверность* и *Вероятность*.

Обезлесение Превращение *леса* в нелесные угодья. Обсуждение термина *лес* и связанных с ним терминов, таких как *облесение*, *лесовозобновление* и *обезлесение*, см. в Специальном докладе МГЭИК “Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство” (МГЭИК, 2000 год). См. также доклад “Определения и методологические варианты составления кадастра выбросов в результате непосредственной антропогенной деградации лесов и исчезновения других типов растительности” (МГЭИК, 2003 год).

Облачные ядра конденсации (ОЯК) Совокупность частиц *аэрозоля*, служащая исходной точкой для конденсации жидкой воды, что может привести к образованию облачных капель при характерных условиях формирования облачности. Главным фактором, определяющим то, какие частицы аэрозоля являются ОЯК в данный момент перенасыщения, является их размер.

Облесение Выращивание новых *лесов* на землях, на которых ранее не было лесов. Обсуждение термина *лес* и связанных с ним терминов, таких как *облесение*, *лесовозобновление* и *обезлесение*, см. Специальный доклад МГЭИК “Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство” (МГЭИК, 2000 год). См. также доклад “Определения и методологические варианты составления кадастра выбросов в результате непосредственной антропогенной деградации лесов и исчезновения других видов растительности” (МГЭИК, 2003 г).

Обнаружение и установление причин наблюдаемых изменений *Обнаружение изменения* определяется как процесс, показывающий, что *климат* или система, затронутая климатом, изменились в некотором определенном статистическом смысле, без указания при этом причины для подобного изменения. Выявленное изменение обнаруживается в данных наблюдений, если *правдоподобие* наступления случайного изменения в результате только *внутренней вариабельности* определяются как незначительная, например <10%. *Установление причин* определяется как процесс оценки относительных вкладов многочисленных причинных факторов в изменение или явлении с указанием степени статистической достоверности (Hegerl et al., 2010).

Оборудование микроволнового зондирования (MSU) Микроволновый зонд на полярно-орбитальных спутниках Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА), который оценивает температуру

толстых слоев *атмосферы* путем измерения тепловой эмиссии молекул кислорода, используя для этого комплекс линий спектра излучения в диапазоне около 60 ГГц. Система из девяти MSU начала производить такие измерения в конце 1978 г. С середины 1998 г. в эксплуатацию была введена следующая серия приборов – усовершенствованное оборудование микроволнового зондирования (AMSU).

Обратная связь См. *Климатическая обратная связь*.

Обратная связь климат – углеродный цикл *Климатическая обратная связь*, предполагающая изменения характеристик *углеродного цикла* на суше и в океанах как реакции на *изменение климата*. В океане изменения температуры и циркуляции океана могут воздействовать на поток *CO₂* в системе *атмосфера–океан*; на континентах изменение климата может затронуть *фотосинтез* растений и *респирацию* почвенных микроорганизмов и соответственно поток *CO₂* между атмосферой и *биосферой* поверхности Земли.

Обратная связь альbedo льда *Климатическая обратная связь*, вызывающая изменения в *альbedo* поверхности Земли. Снег и лед обладают альbedo гораздо более высоким (до ~0,8), нежели среднее планетарное альbedo (~0,3). В связи с ростом температур ожидается, что площадь снега и льда уменьшится, общее альbedo Земли станет меньшим и будет поглощаться большее количество *солнечной радиации*, что приведет к дальнейшему потеплению на Земле.

Обратная связь облаков *Климатическая обратная связь*, предполагающая изменения в каких-либо свойствах облаков в результате реакции на изменение местной или *средней глобальной приземной температуры*. Понимание обратных связей облаков и определение порядка их величины и знака требуют понимания того, каким образом изменение *климата* может повлиять на спектр типов облаков, их относительное количество и высоту, радиационные свойства облаков, и наконец, радиационный баланс Земли. В настоящее время обратные связи облаков остаются главной причиной *неопределенности* оценок *чувствительности климата*. См. также *Радиационный эффект облаков*.

Обратный эффект При удалении *CO₂* из *атмосферы* уменьшается градиент его концентрации между атмосферными и наземными/океаническими *резервуарами* углерода. Это ведет к уменьшению или изменению в обратном направлении последующей собственной скорости удаления *CO₂* из атмосферы в результате естественных процессов *углеродного цикла* на суше и в океане.

Общая циркуляция Крупномасштабные перемещения воздушных масс *атмосферы* и вод океана вследствие различий в режиме нагревания при вращении Земли. Общая циркуляция вносит вклад в *энергетический баланс* системы за счет переноса тепла и количества движения.

Общее солнечное излучение (ОСИ) Общее количество *солнечной радиации* в Ваттах на квадратный метр, принятое вне *атмосферы* Земли на поверхность, расположенную перпендикулярно к падающему излучению, и на среднем расстоянии Земли от Солнца.

Достоверные измерения солнечной радиации можно проводить только из космоса, а точные данные об этом показателе доступны только с 1978 года. Общепринятое значение – 1368 Вт м⁻² с точностью около 0,2%. Недавно оно оценивалось в 1360,8 ± 0,5 Вт м⁻² для минимальной солнечной активности в 2008 году. Типичными являются вариации в несколько десятых долей процента, обычно связанные с приходом *солнечных пятен* через солнечный диск. Изменение ОСИ за *солнечный цикл* составляет порядка 0,1% (AMS, 2000). Изменения в ультрафиолетовой части спектра во время солнечного цикла являются сравнительно большими (в процентах) по сравнению с ОСИ. См. также *Инсоляция*.

Озон Озон, трехатомная форма кислорода (O₃), представляет собой газообразный компонент атмосферы. В *тропосфере* он образуется как естественным путем, так и в результате фотохимических реакций с участием газов, являющихся продуктом деятельности человека (*смог*). Тропосферный озон действует как *парниковый газ*. В *стратосфере* озон образуется в результате взаимодействия между солнечным ультрафиолетовым излучением и молекулярным кислородом (O₂). Стратосферный озон играет решающую роль в радиационном балансе стратосфер. Его концентрация достигает наибольшего значения в *озоновом слое*.

Озоновая дыра См. *Озоновый слой*.

Озоновый слой В *стратосфере* есть слой, в котором концентрация *озона* достигает максимального значения – так называемый озоновый слой. Он простирается на высоте порядка 12–40 км от поверхности Земли. Концентрация озона достигает максимального значения на высоте приблизительно 20–25 км. Этот слой истощается в результате антропогенных выбросов хлористых и бромистых соединений. Каждый год весной в Южном полушарии, над районом Антарктики, происходит очень сильное истощение озонового слоя, вызванное действием хлористых и бромистых соединений *антропогенного происхождения* в сочетании со специфическими метеорологическими условиями в этом *регионе*. Это явление получило название *Озоновая дыра*. См. также *Монреальский протокол*.

Опускание вод Океанический процесс, при котором поверхностные воды поступают в глубины океана из поверхностного перемешанного слоя в результате *накачивания Экмана* и боковой *адвекции*. Второй из этих процессов происходит, когда поверхностные воды перемещаются вследствие адвекции в область, где локальный поверхностный слой менее плотный и поэтому вынужден скользить вниз ниже поверхностного слоя, обычно без изменения плотности.

Органический аэрозоль Компонент *аэрозоля*, состоящий из органических соединений, главным образом углерода, водорода, кислорода и меньших количеств других элементов. См. также *Углеродосодержащий аэрозоль*.

Осаждаемая вода Общий объем атмосферного водяного пара в вертикальном столбе единичной площади поперечного сечения. Обычно выражается в показателях высоты воды, если водяной пар полностью сконденсирован и собран в сосуде с таким же единичным поперечным сечением.

Осаждение азота Осаждение азота определяется как перенос азота из *атмосферы* к поверхности Земли в результате процессов влажного и сухого осаждения.

Откалывание Откалывание отдельных кусков льда от *ледника*, *ледяного щита* или *шельфового льда*, которые падают в озеро или морскую воду, образуя айсберги. Это одна из разновидностей потери массы из ледового образования. См. также *Баланс/бюджет массы (ледников или ледяных щитов)*.

Отклонение модели Поскольку смоделированный *климат* отличается в определенной степени от *наблюдаемого климата*, прогнозы климата будут обычно “отклоняться” от первоначального состояния, установленного по данным наблюдений, в направлении смоделированного климата. Это отклонение происходит в разных временных масштабах для разных переменных, может исказить прогностическую информацию об исходных условиях и обычно исключается апостериори посредством внесения эмпирической, как правило линейной, поправки.

Относительная влажность Относительная влажность показывает отношение фактического давления водяного пара к давлению насыщенного водяного пара применительно к жидкой воде или льду при той же температуре. См. также *Удельная влажность*.

Относительный уровень моря Уровень моря, измеренный с помощью *мареографа* по отношению к суше, на которой он расположен. См. также *Средний уровень моря* и *Изменение уровня моря*.

Отпечаток Отпечатком обычно называют характер реакции *климата* в пространстве и/или во времени на конкретное воздействие. Отпечатками также называют пространственные характеристики реагирования уровня моря на таяние *ледников* или *ледяных щитов* (или другие изменения поверхностной нагрузки). Отпечатки используются для выявления наличия этого реагирования в данных наблюдений и обычно оцениваются с помощью принудительного *моделирования климата*.

Отступление ледников/конец ледникового периода Переходы от полностью ледниковых условий (*ледниковый период*) к теплым *межледниковым периодам* характеризуемым глобальным потеплением и подъемом уровня моря вследствие изменения в объеме континентального льда.

Палеоклимат *Климат* в периоды, предшествующие разработке измерительных приборов, включая исторические и геологические эпохи, для которых имеются только *косвенные* климатические данные.

Параметр климатической обратной связи Способ количественного описания радиационной реакции *климатической системы* на изменение *средней глобальной приземной температуры*, вызванной *радиационным воздействием*. Этот параметр изменяется обратно пропорционально *эффективной чувствительности климата*. Формально параметр климатической обратной связи (α ; единица измерения: Вт/м² °C⁻¹) определяется как: $\alpha = (\Delta Q - \Delta F) / \Delta T$, где Q – среднее глобальное радиационное воздействие, T – средняя глобальная температура воздуха на поверхности, F – поток тепла в океан, Δ означает изменение по отношению к невозмущенному *климату*.

Параметр чувствительности климата См. *Чувствительность климата*.

Параметризация В *климатических моделях* этот термин обозначает методику представления процессов, которые невозможно явно представить при пространственной или временной *разрешающей способности* данной модели (подсеточных процессов) путем расчета взаимосвязи между крупномасштабными переменными, представленными в модели, и усредненным по площади или времени эффектам таких подсеточных процессов.

Парниковый газ (ПГ) К парниковым газам относятся те газовые составляющие *атмосферы*, как естественные, так и *антропогенные*, которые поглощают и излучают радиацию с определенной длиной волны в диапазоне *земной радиации*, испускаемой поверхностью Земли, самой атмосферой и облаками. Это свойство порождает *парниковый эффект*. Основными парниковыми газами в атмосфере Земли являются водяной пар (H₂O), *диоксид углерода (CO₂)*, *закись азота (N₂O)*, *метан (CH₄)* и *озон (O₃)*. Кроме того, в атмосфере содержится еще целый ряд парниковых газов полностью антропогенного происхождения, таких как *галогидоуглеводороды* и другие хлор- и бромсодержащие вещества, подпадающие под действие *Монреального протокола*. Помимо CO₂, N₂O и CH₄, под действие *Киотского протокола* подпадают такие парниковые газы, как гексафторид серы (SF₆), гидрофторуглероды (*ГФУ*) и перфторуглероды (ПФУ). Список *хорошо перемешиваемых парниковых газов* см. в таблице 2.A.1.

Парниковый эффект Инфракрасный *радиационный эффект* всех составляющих *атмосферы*, поглощающих инфракрасное излучение. *Парниковые газы*, облака и (в меньшей степени) *аэрозоли* поглощают *земную радиацию*, излучаемую поверхностью Земли и другими объектами в атмосфере. Эти субстанции испускают *инфракрасное излучение* во всех направлениях, однако при всех прочих равных условиях чистое количество излучения в космос обычно меньше того, которое испускалось бы при отсутствии этих поглотителей в результате снижения температуры по мере увеличения высоты в *тропосфере*, и соответствующего ослабления излучения. Повышение концентрации парниковых газов увеличивает силу этого эффекта; разность иногда называют повышенным парниковым эффектом. Изменение концентрации парниковых газов в результате *антропогенных* выбросов способствует *кратковременному радиационному воздействию*. Приземная температура и температура тропосферы повышаются в результате этого воздействия, постепенно восстанавливая радиационный баланс в верхней части атмосферы.

Переломный момент Применительно к *климату* - условное критическое пороговое значение, когда глобальные или региональные *изменения климата* переходят из одного стабильного состояния в другое стабильное состояние. Явление переломного момента может быть необратимым. См. также *Необратимость*.

Перенос Экмана Общий перенос в результате равновесия между силой Кориолиса и напряжением трения вследствие действия ветра на поверхности океана. См. также *Накачивание Экмана*.

Переходная реакция климата См. *Чувствительность климата*.

Переходная реакция климата на суммарные выбросы CO₂ (ПРКВ) Переходное изменение средней глобальной *приземной температуры* на единицу суммарных выбросов CO₂ - обычно 1000 ПгС. ПРКВ показывает одновременно как *атмосферную фракцию* суммарных выбросов CO₂ (фракцию общего количества выброшенного CO₂, которая остается в *атмосфере*), так и *переходную реакцию климата* (ПРК).

Период повторяемости Оценка среднего временного интервала между наступлениями события (например, паводок или экстремальные дождевые осадки) определенного масштаба или интенсивности (или ниже/выше них). См. также *Возвращаемое значение*.

Планктон Микроорганизмы, живущие в верхних слоях акваторических систем. Различаются *фитопланктон*, который получает энергию путем *фотосинтеза*, и *зоопланктон*, питающийся фитопланктоном.

Плейстоцен Эпоха Плейстоцена является ранней из двух эпох в системе *Четвертичного периода*, продолжавшегося с 2,59 млн. лет тому назад до начала *Голоцена* 11,65 тыс. лет тому назад.

Плиоцен Плиоценовая эпоха – это последняя эпоха *неогеновой* системы, начавшаяся 5,33 млн. лет тому назад и продолжавшаяся до начала *Плейстоцена* 2,59 млн. лет тому назад.

Поглотитель Любой процесс, вид деятельности или механизм, который удаляет *парниковый газ*, *аэрозоль* или *прекурсор* парникового газа или аэрозоля из *атмосферы*.

Поглощение Добавление потенциально опасного вещества в *резервуар*. Поглощение углеродсодержащих веществ, в частности *диоксида углерода*, часто называют *секвестрацией* (углерода).

Пограничный слой атмосферы Слой атмосферы, прилегающий к поверхности Земли, на который действует трение об эту пограничную поверхность и, возможно, перенос тепла и другие переменные значения этой поверхности (AMS, 2000). Самые нижние 100 м пограничного слоя (около 10 % толщины пограничного слоя), где преобладает механическое формирование турбулентности, называются приземным *пограничным слоем* или *приземным слоем*.

Показательная высота волны Средняя высота одной третьей части самых высоких волн от подошвы до вершины (ветровое волнение и зыбь), наблюдаемая в конкретный период времени.

Полупрямой эффект (аэрозоля) См. *Взаимодействие между аэрозолем и радиацией*.

Полуэмпирическая модель Модель, в которой расчеты основаны на комбинации наблюдаемых ассоциаций между переменными и теоретическими соображениями относительно переменных с использованием фундаментальных принципов (например, сохранение энергии). Например, в исследованиях уровня моря полуэмпирические модели означают конкретно функции передачи, сформулированные для прогнозирования будущего глобального *изменения среднего уровня моря*, или способствующих этому факторов в результате будущего изменения *средней глобальной приземной температуры* или *радиационного воздействия*.

Последний ледниковый максимум (ПЛМ) Время в последнюю *ледниковую эпоху*, когда площадь *ледников* и *ледяных щитов* достигла своей максимальной величины – приблизительно 21 тыс. лет тому назад. Этот период тщательно изучен, поскольку относительно хорошо известны *радиационные воздействия* и пограничные условия.

Последнее межледниковье (ПМ) См. *Межледниковья*.

Потенциал глобального потепления (ПГП) Показатель, основанный на радиационных свойствах *парниковых газов*, посредством которого измеряется *радиационное воздействие после импульсного выброса* единицы масса данного хорошо перемешиваемого газа в сегодняшней *атмосфере*, интегрированное по выбранному временному горизонту, относительно воздействия *диоксида углерода*. ПГП представляет собой комбинированный эффект разного времени нахождения этих газов в атмосфере и их относительно эффективности как причины радиационного воздействия. *Киотский протокол* основан на ПГП в результате импульсных выбросов за столетний период времени.

Поток явного тепла Турбулентный или кондуктивный поток тепла от поверхности Земли в *атмосферу*, не связанный с фазовыми превращениями воды; компонент поверхностного *энергетического бюджета*.

Почвенная влага Вода, которая содержится в почве в жидком или замерзшем состоянии.

Почвенная температура Температура почвы. Может измеряться или моделироваться на многих уровнях в пределах глубины почвы.

Правдоподобие Возможность конкретного результата, если ее можно оценить с вероятностной точки зрения. В настоящем докладе это выражается с помощью стандартной терминологии, приведенной в таблице 1.1. См. также *Достоверность* и *Неопределенность*.

Предсказание климата Предсказание климата или *прогноз климата* – это результат попытки дать оценку (исходя из конкретного состояния *климатической системы*) фактической эволюции *климата* в будущем, например на сезонном, межгодовом или десятилетнем временных масштабах. Поскольку эволюция *климатической системы* в будущем может быть весьма чувствительной к начальным условиям, такие предсказания обычно являются вероятностными по своему характеру. См. также *Проекция климата*, *Климатический сценарий*, *Инициализация моделей* и *Предсказуемость*.

Предсказуемость Степень, в которой будущие состояния системы могут быть предсказаны на основе знания текущего и прошлого состояний системы. Поскольку знание прошлого и текущего состояний *климатической системы* обычно несовершенно, как несовершенны и модели, использующие это знание для подготовки *предсказания климата*, и поскольку климатическая система по своей природе является *нелинейной* и *хаотичной*, предсказуемость климатической системы неизбежно является ограниченной. Даже при произвольных точных моделях и наблюдениях все же могут быть пределы предсказуемости такой нелинейной системы (AMS, 2000).

Прекурсоры Атмосферные соединения, которые не являются *парниковыми газами* или *аэрозолями*, но которые воздействуют на концентрации парниковых газов или аэрозолей, участвуя в физических или химических процессах, регулирующих скорость их образования или разложения.

Приземный слой См. *Пограничный слой атмосферы*.

Приземная температура См. *Средняя глобальная приземная температура*, *Приземная температура воздуха* и *Температура поверхности моря*.

Приземная температура воздуха Приземная температура воздуха, измеренная в хорошо вентилируемых будках на высоте 1,5 м от земли.

Приповерхностная многолетняя мерзлота Термин, часто используемый в применениях *климатических моделей* для обозначения *многолетней мерзлоты* на глубинах близких к поверхности земли (обычно до 3,5 м). В исследованиях на основе моделей диагностика приповерхностной мерзлоты обычно проводится по средним климатическим показателям за 20 или 30 лет, что отличается от традиционного определения мерзлоты. Исчезновение приповерхностной мерзлоты в каком-то месте не исключает длительного сохранения мерзлоты на большей глубине. См. также *Активный слой*, *Мерзлый грунт* и *Термокарст*.

Приходящая солнечная радиация См. *Инсоляция*.

Прогноз климата См. *Предсказание климата*.

Продленные траектории концентраций См. *Репрезентативные траектории концентраций*.

Проекция Проекция представляет собой потенциальную будущую эволюцию количественного показателя и совокупности количественных показателей, часто рассчитываемых с помощью модели. В отличие от предсказаний, проекции носят условный характер в отношении предположений, касающихся, например, будущих социально-экономических и технологических разработок, которые могут или не могут быть реализованы. См. также *Предсказание климата* и *Проекция климата*.

Проекция климата *Проекция* климата – это смоделированный отклик *климатической системы* на *сценарий* будущих выбросов или концентрации *парниковых газов* и *аэрозолей*, который обычно получают с использованием *климатических моделей*. Проекция климата отличается от *предсказаний*

климата своей зависимостью от используемого сценария выбросов/**концентрации радиационного воздействия**, который в свою очередь основан на предположениях, касающихся, например, будущих социально-экономических и технологических разработок, которые могут или не могут быть реализованы. См. также *Климатический сценарий*.

Промышленная революция Процесс быстрого промышленного развития с далекоидущими социально-экономическими последствиями, который начался во второй половине XVIII века в Великобритании и распространился на Европу, а затем на другие страны, включая США. Мощный толчок этому процессу развития дало изобретение парового двигателя. Промышленная революция положила начало быстрому росту использования ископаемого топлива и объема выбросов, в частности **диоксида углерода**. В настоящем докладе термины *доиндустриальный* и *индустриальный* относятся в какой-то мере произвольно к периодам времени до и после 1750 года, соответственно.

Пространственные и временные масштабы **Климат** может варьироваться в очень широких пространственных и временных масштабах. Пространственные масштабы могут варьироваться от местных (менее 100 000 км²) до региональных (100 000–10 млн. км²) и континентальных (10–100 млн. км²). Временные масштабы могут варьироваться от сезонных до геологических (до сотен млн. лет).

Протяженность снежного покрова Площадь земной поверхности, покрытой снегом.

Процентили Набор частей деления, когда общая совокупность распределения делится на 100 равных частей, при этом 50-й процентиль соответствует **медиане** совокупности.

Прямое воздействие (аэрозолей) См. *Взаимодействие между аэрозолем и радиацией*.

Прямое улавливание воздуха Химический процесс, при котором поток чистого **CO₂** возникает в результате улавливания **CO₂** из окружающей воздушной среды.

Пыльцевой анализ Метод относительного датирования и экологической **реконструкции**, состоящий из выявления и подсчета типов пыльцы, сохранившейся в торфе, озерных наносах и других отложениях. См. также *Косвенный показатель*.

Равновесная чувствительность климата См. *Чувствительность климата*.

Радиационное воздействие Радиационное воздействие – это изменение чистого – нисходящий минус восходящий – радиационного потока (выражается в Вт м⁻²) в **тропопаузе** или на верхней границе **атмосферы** вследствие изменения внешнего фактора **изменения климата**, например вследствие изменения концентрации **диоксида углерода** или исходящего потока энергии Солнца. Иногда внутренние факторы до сих пор рассматриваются в качестве воздействий, даже несмотря на то, что они являются результатом изменения **климата**, например изменения **аэрозолей** или **парниковых газов** в разные периоды **палеоклимата**. Традиционное радиационное воздействие рассчитывается при фиксированных (невозмущенных) значениях всех свойств тропосферы и после того, как стратосферные температуры, если они возмущены, придут в радиационно-динамическое равновесие. Радиационное воздействие называется **мгновенным**, если не учитывается никакое изменение стратосферной температуры. Радиационное воздействие с учетом **быстрых подстроек** называется **эффективным радиационным воздействием**. Для целей настоящего доклада радиационное воздействие определено также как изменение по сравнению с 1750 годом и, если иного не указано, соответствует глобальному и среднегодовому значению. Радиационное воздействие не следует путать с **радиационным воздействием облаков** – термин, описывающий независимую меру влияния облаков на радиационный поток на верхней границе атмосферы.

Радиационный эффект Воздействие на радиационный поток или на скорость нагревания (чаще всего на нисходящий поток на верхней границе **атмосферы**), вызванное взаимодействием конкретного компонента с полями либо **инфракрасного**, либо **солнечного излучения** в результате поглощения, рассеивания и эмиссии, сравнительно идентичного в ином случае состояния

атмосферы, свободной от этого компонента. Это является количественным определением воздействия данного компонента на **климатическую систему**. К числу примеров относятся **взаимодействия аэрозоля-радиации**, **радиационный эффект облаков** и **парниковый эффект**. В настоящем докладе доля любого радиационного эффекта на верхней границе атмосферы, вызванного **антропогенными** или иными внешними воздействиями (например, извержения вулканов или изменения на Солнце), именуется **мгновенным радиационным воздействием**.

Радиационный эффект облаков **Радиационный эффект** облаков сравнительно идентичной ситуации в случае отсутствия облаков. В предыдущих докладах МГЭИК этот эффект назывался **радиационное воздействие облаков**, однако подобная терминология не соответствует другим случаям использования термина **воздействие** и не сохранена в настоящем докладе. См. также *Обратная связь облаков*.

Разрешение В **климатических моделях** этот термин обозначает физическое расстояние (метры или градусы) между каждой точкой на сетке, используемой для расчета уравнений. **Временное разрешение** означает временной шаг или временной интервал между каждым модельным расчетом уравнений.

Рамочная конвенция об изменении климата См. *Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН)*.

Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН) Конвенция была принята 9 мая 1992 года в Нью-Йорке и подписана в ходе Встречи на высшем уровне “Планета Земля” в Рио-де-Жанейро в 1992 году более чем 150 странами и Европейским сообществом. Ее конечная цель заключается в “стабилизации концентраций **парниковых газов** в **атмосфере** на таком уровне, который не допускал бы опасного **антропогенного** воздействия на **климатическую систему**”. Она содержит обязательства для всех Сторон. В соответствии с Конвенцией Стороны, включенные в приложение I (все страны ОЭСР и страны с переходной экономикой), стремятся к 2000 году вернуться к уровням выбросов парниковых газов, не контролируемых **Монреальским протоколом**, который существовал в 1990 году. Конвенция вступила в силу в марте 1994 года. В 1997 году РКИКООН приняла **Киотский протокол**.

Распад Постепенное удаление атмосферного **CO₂** в результате разложения силикатных и карбонатных пород. Распад может включать физические процессы (**механический распад**) или химические процессы (**химический распад**).

Расход воды в реке См. *Речной сток*.

Реакция климата См. *Чувствительность климата*.

Реанализ Реанализы – это оценки исторических данных о температуре атмосферы и ветрах или о температуре и течениях океана, а также о других количественных параметрах, которые осуществляются посредством обработки прошлых метеорологических или океанографических данных с использованием самых последних достижений в области прогнозирования погоды или моделей циркуляции океана и методов ассимиляции данных. Использование фиксированной ассимиляции данных позволяет избежать эффектов, связанных с изменением системы анализа, которые присутствуют в оперативных анализах. Хотя непрерывность улучшается, глобальные повторные анализы страдают, тем не менее, от изменения охвата и погрешностей систем наблюдений.

Регион Регион – это территория, характеризующаяся конкретными географическими и климатологическими особенностями. На **климат** региона влияют такие свойства регионального или местного масштаба, как топография, характеристики **землепользования** и озера, а также удаленные воздействия других регионов. См. также *Дальняя корреляционная связь*.

Регулирование солнечной радиации (РСР) Регулирование солнечной радиации означает преднамеренное изменение коротковолнового радиационного бюджета Земли с целью уменьшения **изменения климата** в соответствии с установленной **системой показателей** (например, **приземная температура**, осадки, региональные воздействия и т.д.). Двумя примерами методов РСР являются искусственное взрывчатание стратосферных **аэрозолей** и повышение яркости облаков. Методы изменения некоторых быстро реагирующих элементов

длинноволнового радиационного бюджета (таких, как перистые облака), хотя они и не относятся строго говоря к РСР, могут быть связаны с РСР. Методы РСР не подпадают под обычные определения *смягчения воздействий* и адаптации (IPCC, 2012, р. 2). См. также *Солнечная радиация*, *Удаление диоксида углерода (УДУ)* и *Геоинжиниринг*.

Резервуар Компонент *климатической системы*, помимо *атмосферы*, который обладает способностью хранить, аккумулировать или высвобождать вызывающее потенциально опасное вещество, например углерод, *парниковый газ* или *прекурсор*. Примерами резервуаров углерода являются океаны, почвы и *леса*. *Пул* является эквивалентным термином (следует иметь в виду, что это определение часто включает атмосферу). Абсолютное количество потенциально опасного вещества, содержащегося в резервуаре в течение заданного времени, называется *запасом*.

Резкое изменение климата Крупномасштабное изменение в *климатической системе*, которое происходит в течение нескольких десятилетий или в более короткий период, сохраняется (или предположительно сохраняется) в течение как минимум нескольких десятилетий и вызывает значительные нарушения в функционировании антропогенных и природных систем.

Реконструкция (климатической переменной) Подход к реконструкции прошлых временных и пространственных характеристик климатической переменной на основе прогностических параметров. Прогностическими параметрами могут быть данные приборов, если реконструкция используется для восполнения отсутствующих данных, или *косвенные* данные при подготовке *палеоклиматических* реконструкций. Для этой цели был разработан целый ряд методов: методы, основанные на линейной многофакторной регрессии, нелинейный *Байесовский* метод и аналогичные методы.

Репрезентативные траектории концентраций (РТК) Сценарии, которые включают временные ряды выбросов и концентраций всего набора *парниковых газов* и *аэрозолей* и химически активных газов, а также *землепользования/наземного покрова* (Moss et al., 2008). Слово репрезентативный означает, что каждая РТК показывает лишь один из многих возможных сценариев, которые привели бы к получению конкретных характеристик *радиационного воздействия*. Термин *траектория* подчеркивает, что интерес представляют не только уровни долгосрочных концентраций, но также и траектория, построенная во времени для достижения этого конечного результата (Moss et al., 2010).

РТК обычно означает часть траектории концентрации вплоть до 2100 года, для которой с помощью комплексных моделей оценки построены соответствующие *сценарии выбросов*. *Продленные траектории концентраций (ПТК)* дают описание продлений РТК с 2100 по 2500 годы, которые были рассчитаны с использованием простых правил, разработанных в ходе консультаций заинтересованных сторон. Они не представляют собой полностью согласованные сценарии.

Четыре РТК, полученные при помощи комплексных моделей оценки, были выбраны из опубликованной литературы и используются в настоящей оценке МГЭИК в качестве основы для *предсказаний* и *проекций климата*, представленных в главах 11–14:

РТК2.6 Одна траектория, когда значения радиационного воздействия достигают пиковых значений приблизительно 3 Вт м⁻² до 2100 г., а затем уменьшаются (соответствующая ПТК предполагает постоянные выбросы после 2100 г.);

РТК4.5 и РТК6.0 Две промежуточные *стабилизационные траектории*, по которым происходит стабилизация радиационного воздействия после 2010 г. на уровне приблизительно 4.5 Вт м⁻² и 6.0 Вт м⁻² (соответствующие ПТК предполагают постоянные концентрации после 2150 г.);

РТК8.5 Одна высокая траектория, по которой радиационное воздействие достигает >8,5 Вт м⁻² к 2100 г. и продолжает усиливаться в течение некоторого времени (ПТК соответствует постоянным выбросам после 2100 г. и постоянным концентрациям после 2250 г.);

Дальнейшее описание будущих сценариев см. во вставке 1.1.

Ретроспективный прогноз Прогноз, сделанный для прошлого периода, с использованием только информации, которая имела до начала подготовки

прогноза. Последовательность ретроспективных прогнозов может быть использована для калибровки системы прогнозирования и/или обеспечения критерия для среднего уровня точности, который система прогнозирования продемонстрировала в прошлом, в качестве ориентира в отношении той степени точности, которую можно ожидать в будущем.

Речной сток Поток воды в русле реки, выраженный, например, в м³/с⁻¹. Синоним термина *расход воды в реке*.

pH pH - это безразмерный показатель кислотности воды (или любого раствора), задаваемый концентрацией в ней ионов водорода (H⁺). pH измеряется по логарифмической шкале, где $pH = -\log^{10}(H^+)$. Таким образом, снижение pH на одну единицу соответствует 10-кратному повышению концентрации H⁺, или кислотности.

¹³C - C Стабильный *изотоп* углерода, атомный вес которого приблизительно равен 13. Измерения соотношения ¹³C/¹²C в молекулах *диоксида углерода* используются для получения заключения о важности различных процессов *углеродного цикла* и климатических процессов, а также о емкости наземного *резервуара* углерода.

¹⁴C - C Нестабильный *изотоп* углерода, атомный вес которого приблизительно равен 14, а период полураспада составляет около 5700 лет. Он часто используется для датирования событий, происходивших почти 40 тыс. лет тому назад. На его изменение по времени влияют магнитные поля Солнца и Земли, которые определяют его образование под воздействием космических лучей (см. *Космогенные радиоизотопы*).

Североатлантическое колебание (САК) Североатлантическое колебание заключается в противоположных по знаку изменениях барометрического давления у берегов Исландии и Азорских островов. Поэтому оно соответствует колебаниям силы главных западных ветров, направленных через Атлантику в Европу, и, следовательно, колебаниям сопутствующих *внетропических циклонов* с их соответствующими фронтальными системами. См. Индекс САК, вставка 2.5.

Северная кольцевая мода (СКМ) Зимняя флуктуация амплитуды режима, характеризуемого низким приземным давлением в Арктике и сильными западными ветрами в средних широтах. СКМ связана с северным околполярным вихрем в *стратосфере*. Ее характер отличается смещением в Северную Атлантику, а ее индекс в значительной мере коррелирует с *Североатлантическим колебанием*. См. Индекс СКР, вставка 2.5.

Сезонномерзлый грунт См. *Мерзлый грунт*.

Секвестрация См. *Поглощение*.

Скрытый поток тепла Турбулентный поток тепла с поверхности Земли в *атмосферу*, связанный с испарением или конденсацией водяного пара на поверхности; компонент поверхностного *энергетического бюджета*.

Смазка основания Уменьшение трения у основания *ледяного щита* или *ледника* благодаря смазке талой водой. Это может позволить леднику или ледяному щиту скользить на своей основе. Талая вода может образоваться в результате таяния, трения или геотермального тепла, вызванных давлением, или вода от таяния поверхности может просочиться к основанию через отверстия во льду.

Смягчение последствий Вмешательство человека в целях сокращения *источников* или расширения *поглотителей парниковых газов*.

Солнечная активность Общий термин, описывающий целый ряд магнитных явлений на Солнце, таких как *солнечные пятна*, *факелы* (яркие участки) и вспышки (выброс частиц высокой энергии). Она меняется во временных масштабах от минут до млн. лет. См. также *Солнечный цикл*.

Солнечная радиация Электромагнитная радиация, излучаемая Солнцем, со спектром, близким к спектру черного тела с температурой 5770 К. Пик радиации приходится на волны видимой длины. При сравнении с *земной радиацией* ее часто называют *коротковолновой радиацией*. См. также *Инсоляция* и *Общее солнечное излучение (ОСИ)*.

Солнечный (11-летний) цикл Квазирегулярное колебание *солнечной активности* переменной мощности с периодом 8–14 лет.

Солнечные пятна Темные участки на Солнце, где мощные магнитные поля уменьшают конвекцию, вызывая таким образом снижение температуры до порядка 1500 К по сравнению со смежными областями. Число солнечных пятен больше в периоды более высокой *солнечной активности* и изменяется, в частности, вместе с *солнечным циклом*.

Сопоставимые выбросы *Модели системы Земля*, имитирующие *углеродный цикл на суше и в океане*, могут рассчитывать выбросы CO_2 , которые являются сопоставимыми с данной траекторией концентрации CO_2 в атмосфере. Сопоставимые выбросы за данный период времени эквивалентны увеличению содержания углерода за такой же период времени в совокупности трех активных *резервуаров*: атмосфера, суша и океан.

Средневековая аномалия климата (САК) См. *Средневековый период потепления*.

Средневековый период потепления (СПП) Промежуток времени между относительно теплыми условиями и другими явными *климатическими* аномалиями, такими как более масштабная *засуха* в некоторых континентальных *регионах*. Время наступления этого периода четко не определено, при этом разные зарегистрированные данные показывают начало и окончание теплой погоды в разные сроки, а некоторые данные показывают кратковременную теплую погоду. Большинство определений относится к периоду 900–1400 гг. Имеющиеся сейчас реконструкции средней температуры в северном полушарии показывают, что самый теплый период в масштабе полушария наблюдался, вероятно, с 950 по 1250 гг. Имеющиеся в настоящее время зафиксированные данные и *реконструкции* температуры показывают, что средние температуры во время отдельных частей СПП действительно были выше по сравнению с условиями последних 2000 лет, хотя потепление не было, вероятно, повсеместным в разные времена года и в разных географических регионах по сравнению с потеплением, наблюдаемым в XX веке. Это явление называется также *Средневековая аномалия климата*.

Средний уровень моря Уровень поверхности океана в конкретной точке, усредненный по длительному периоду времени, такому как месяц или год. Средний уровень моря часто используется в качестве национальной нулевой точки отсчета, к которой привязываются показатели высоты суши.

Средняя глобальная приземная температура Оценка средней глобальной приземной температуры воздуха. Однако для изменений во времени используются только аномалии, как отклонения от климатологии, основанные обычно на взвешенной по площади средней глобальной величине аномалии *температуры поверхности моря* и аномалии *приземной температуры воздуха*.

Стерический См. *Изменение уровня моря*.

Сток Часть осадков, которая не испаряется и не просачивается, а стекает по земной поверхности или сквозь грунт в водоемы. См. также *Гидрологический цикл*.

Стратосфера Сильно стратифицированная область *атмосферы*, расположенная выше *тропосферы*, на высоте от порядка 10 км (в среднем от 9 км в высоких широтах до 16 км в тропиках) до 50 км.

Суточный диапазон температур Разность между максимальной и минимальной температурами за 24-часовой период.

Сценарии СДСВ Сценарии СДСВ – это *сценарии выбросов*, разработанные Накиченовичем и Суартом (2000 год) и используемые, среди прочего, в качестве основы для некоторых *проекций климата*, представленных в главах 9–11 Доклада МГЭИК (2001 год) и главах 10–11 Доклада МГЭИК (2007 год). Для лучшего понимания структуры и использования совокупности сценариев СДСВ ниже приводятся следующие термины:

Сценарная семья Сценарии, для которых характерны похожие сюжетные линии демографических, социальных, экономических и технических изменений. Совокупность сценариев СДСВ образуют четыре сценарных семьи: A1, A2, B1 и B2.

Иллюстративный сценарий Сценарий, который иллюстрирует каждую из шести групп сценариев, отраженных в “Резюме для политиков” (Накиченович и Суарт, 2000 год). Они включают четыре пересмотренных *маркерных сценария* для групп сценариев A1B, A2, B1, B2 и двух

дополнительных сценариев для групп A1F1 и A1T. Все эти группы сценариев одинаково обоснованы.

Маркерный сценарий Сценарий, который изначально был помещен в предварительном варианте на веб-сайте СДСВ для представления данной сценарной семьи. В основу выбора маркерных сценариев был положен критерий наиболее полного отражения первоначальных требований в данной сюжетной линии и особенностей конкретных моделей. Маркерные сценарии ничем в принципе не отличаются от других сценариев, однако группа, которая разрабатывала сценарии СДСВ, считает, что они иллюстрируют конкретную сюжетную линию. Они включены в пересмотренном варианте в указанную выше публикацию (Накиченович и Суарт, 2000 год). Эти сценарии были самым тщательным образом проанализированы всей группой разработчиков, а также в рамках открытого процесса СДСВ. Были также отобраны сценарии для иллюстрации двух других групп сценариев.

Сюжетная линия Описательное изложение сценария (или сценарной семьи) с выделением основных характеристик сценария, взаимосвязей между основными движущими силами и динамики их эволюции.

Сценарий Правдоподобное описание того, каким образом будет развиваться будущее, основанное на согласованном и внутри последовательном наборе предположений в отношении ключевых движущих факторов (например, темпы технологических изменений, цены) и взаимосвязи. Следует отметить, что сценарии не являются ни предсказаниями, ни прогнозами, однако они полезны для представления картины последствий событий и действий. См. также *Сценарий климата*, *Сценарий выбросов*, *Репрезентативные траектории концентраций* и *Сценарии СДСВ*.

Сценарий выбросов Правдоподобное представление будущего изменения режима выбросов веществ, которые потенциально являются радиационно активными (например, *парниковые газы*, *аэрозоли*), на основе согласованного и внутренне связанного набора допущений в отношении движущих сил (например, демографического и социально-экономического развития, технологических изменений) и их ключевых взаимосвязей. *Сценарии концентрации*, разработанные на основе сценариев выбросов, используются в качестве исходных данных *климатической модели* для расчета *проекций климата*. В 1992 г. МГЭИК представила набор сценариев выбросов, которые были использованы в качестве основы для проекций климата в докладе МГЭИК 1996 г. Эти сценарии выбросов называются сценариями IS92. В Специальном докладе МГЭИК о сценариях выбросов (Накиченович и Суарт, 2000 г.) были опубликованы сценарии выбросов, так называемые *сценарии СДСВ*, некоторые из которых были использованы, в частности, в качестве основы для проекций климата, представленных в главах 9–11 доклада МГЭИК 2001 года и в главах 10–11 доклада МГЭИК 2007 года. Новые сценарии выбросов в связи с *изменением климата*, а также четыре *репрезентативные траектории концентраций* были разработаны для настоящей оценки МГЭИК, но независимо от нее. См. также *Сценарий климата* и *Сценарий*.

Талик Слой незамерзающей круглый год поверхности земли, который находится в районах *многолетней мерзлоты*.

Температура поверхности моря (ТПМ) Температура поверхности моря – это подповерхностная средняя температура в верхних нескольких метрах океана, измеряемая судами, стационарными и дрейфующими буями. Измерения воды из ведер на судах в 1940-е годы практически полностью сменились измерениями проб из водозаборников двигателей. Используются также спутниковые измерения *температуры поверхностного слоя* (самой верхней фракции слоя толщиной в миллиметр) в инфракрасной или верхней приблизительно сантиметровой части микроволнового диапазона, однако их необходимо корректировать для совместимости с объемной температурой.

Тепловое расширение В связи с уровнем моря это означает увеличение объема (или уменьшение плотности) в результате нагревания воды. Потепление океана ведет к увеличению его объема и, как следствие, к подъему уровня моря. См. также *Изменение уровня моря*.

Теплые дни/теплые ночи Дни, когда максимальная температура, или ночи, когда минимальная температура, превышает 90-й *перцентиль*, при этом соответствующее распределение температуры, как правило, определяется

относительно *эталонного* периода 1961–1990 гг. Соответствующие индексы см. во вставке 2.4.

Термокарст Процесс, в результате которого подтаивание богатой льдом *многолетней мерзлоты* или таяние массивного наземного льда приводит к образованию характерных форм рельефа.

Термоклин Слой в океане с максимальным вертикальным градиентом температуры, лежащий между поверхностью океана и его глубинной частью. В субтропических регионах формулирующими его водами обычно являются поверхностные воды более высоких широт, которые опустились (см. *Опускание вод*) и смещаются в сторону экватора. В высоких широтах такого слоя иногда нет, и его замещает *галоклин*, который представляет собой слой с максимальным вертикальным градиентом солёности.

Термохалинная циркуляция (ТХЦ) Широкомасштабная циркуляция в океане, которая преобразует верхние воды океана с низкой плотностью в промежуточные и глубинные воды с более высокой плотностью и возвращает эти воды обратно в верхние слои океана. Эта циркуляция асимметрична: преобразование в плотные воды идет в ограниченных областях высоких широт, а возвращение на поверхность, включая медленный апвеллинг и диффузионные процессы, в гораздо более обширных географических зонах. ТХЦ обусловлена высокой плотностью воды на поверхности или вблизи поверхности, которая обусловлена низкой температурой и/или высокой солёностью. Однако, несмотря на свое «говорящее» обычное название, ТХЦ способствуют также и механические силы, такие как ветер и приливы. Часто термин ТХЦ используется как синоним термина *Меридиональная опрокидывающая циркуляция*.

Термостерический См. *Изменение уровня моря*.

Тихоокеанская десятилетняя изменчивость Тихоокеанская десятилетняя изменчивость – внутривековая изменчивость циркуляции сопряженной системы атмосферы и подстилающего океана в Тихоокеанском бассейне. Сильнее всего это явление проявляется в северной части Тихого океана, где зимние колебания Алеутского минимума давления меняются вместе с *температурами поверхности моря* в северной части Тихого океана и связаны с десятилетними колебаниями атмосферной циркуляции, температур поверхности моря и океанической циркуляции по всему Тихоокеанскому бассейну. Такие колебания приводят к модулированию цикла *Эль-Ниньо - Южное колебание*. Основные измерители Тихоокеанской десятилетней изменчивости – это *Северный тихоокеанский индекс (СТИ)*, индекс *Тихоокеанского десятилетнего колебания (ТДК)* и индекс *Междекадного тихоокеанского колебания (МТК)*. Все эти показатели определены во вставке 2.5.

Тихоокеанское десятилетнее колебание (ТДК) Форма и временной ряд первой эмпирической ортогональной функции *температуры поверхности моря* над северной частью Тихого океана к северу от 20°с.ш. ТДК, расширенное до бассейна всего Тихого океана, известно как Междекадное тихоокеанское колебание. ТДК и МТК характеризуются аналогичной временной эволюцией. См. также *Тихоокеанская десятилетняя изменчивость*.

Тихоокеанско-Североамериканская (ТСА) модель Атмосферная крупномасштабная волновая модель, показывающая последовательность тропосферных аномалий высокого и низкого давления, простирающаяся от субтропической западной части Тихого океана до восточного побережья Северной Америки. См. индекс модели ТСА, вставка 2.5.

Траектории циклонов Изначально этот термин обозначал траектории отдельных циклонических погодных систем, но сейчас его часто обобщают и используют для обозначения *регионов*, где проходят траектории внетропических возмущений как результат областей низкого (циклоны) и высокого (антициклоны) давления.

Тренд В настоящем докладе слово *тренд* обозначает изменение значения переменной, как правило, однообразное во времени.

Тропапауза Граница между *тропосферой* и *стратосферой*.

Тропосфера Самая нижняя часть *атмосферы*, простирающаяся от земной поверхности до высоты примерно 10 км в средних широтах (в пределах от 9 км в высоких широтах до 16 км в среднем в тропиках), где образуются облака и

формируются метеорологические явления. В тропосфере температура обычно снижается с высотой. См. также *Стратосфера*.

Углеродосодержащий аэрозоль *Аэрозоль*, состоящий преимущественно из органических веществ и *черного углерода*.

Углеродный цикл Термин, используемый для описания потока углерода С (в различных формах, например в виде *диоксида углерода*) через *атмосферу*, океан, земную и морскую *биосферу* и *литосферу*. В настоящем докладе эталонной единицей для глобального углеродного цикла является ГтС или эквивалентная величина ПгС (10¹⁵ г).

Удаление диоксида углерода (УДУ) Методы удаления диоксида углерода – это набор технических приемов, предназначенных для удаления *СО₂* непосредственно из *атмосферы* путем либо (1) увеличения числа естественных *поглотителей* углерода, либо (2) использования химической инженерии для удаления *СО₂* с целью уменьшения концентрации *СО₂* в атмосфере. Методы УДУ охватывают океан, сушу и технические системы, в том числе такие методы, как *удобрение железом*, крупномасштабное *облесение* и прямой захват *СО₂* из атмосферы, используя специализированные химические средства. Некоторые методы УДУ относятся к категории *геоинжиниринга*, а другие отличаются от них, и это отличие определяется величиной, масштабами и воздействием конкретных видов деятельности в области УДУ. Невозможно провести четкую границу между УДУ и *смягчением воздействия*, и может наблюдаться некоторое частичное дублирование двух данных существующих определений (IPCC, 2012, р. 2). См. также *Регулирование солнечной радиации (РСР)*.

Удельная влажность Удельная влажность обозначает отношение массы водяного пара к общей массе влажного воздуха. См. также *Относительная влажность*.

Удобрение диоксидом углерода (СО₂) Ускорение роста растений в результате повышения концентрации *диоксида углерода (СО₂)* в атмосфере.

Удобрение железом Специальное добавление железа в верхние слои океана с целью увеличения биологической продуктивности, что может обеспечить дополнительное поглощение атмосферного *диоксида углерода* океанами.

Уравнение/отношение Клаузиуса-Клапейрона Термодинамическое отношение между незначительными изменениями температуры и давления пара в равновесной системе с конденсированными фазами. Для таких газовых примесей, как водяной пар, подобное отношение приводит к увеличению равновесного давления (или насыщения) водяного пара на единицу изменения температуры воздуха.

Установление причин См. *Обнаружение и установление причин*.

Уходящая длинноволновая радиация Чистая уходящая радиация в инфракрасной части спектра в верхних слоях *атмосферы*. См. также *Земная радиация*.

Факелы Яркие пятна на Солнце. Площадь, покрываемая факелами, увеличивается в периоды высокой *солнечной активности*.

Фотосинтез Процесс усвоения растениями *диоксида углерода*, содержащегося в воздухе (или бикарбоната в воде), с образованием углеводов и выделением кислорода в ходе этого процесса. Существует несколько механизмов фотосинтеза с различной реакцией на концентрации двуокиси углерода в атмосфере. См. также *Удобрение диоксидом углерода*.

Функция распределения вероятностей (ФРВ) Функция распределения вероятностей – это функция, которая показывает относительные вероятности появления различных конечных значений переменной. Интеграл функции по всей области ее определения равен единице, а интеграл по подобласти равен вероятности того, что значение переменной лежит в данной подобласти. Например, вероятность того, что аномалия температуры, определенная конкретным образом, выше нуля, получают на основе ее ФРВ путем интегрирования ФРВ по всем возможным аномалиям температуры, превышающим нуль. Аналогичным образом определяются функции распределения вероятностей, которые описывают одновременно две или более переменных.

Хаотичный *Динамическая система*, такая как *климатическая система*, управляемая системой нелинейных детерминированных уравнений (см. *Нелинейность*), может демонстрировать неустойчивое или хаотичное поведение в том смысле, что весьма незначительные изменения в первоначальном состоянии системы со временем ведут к крупным и явно непредсказуемым изменениям в ходе ее временной эволюции. Подобное хаотичное поведение ограничивает *предсказуемость* состояния нелинейной динамической системы в конкретные будущие периоды времени, хотя изменения в ее статистических показателях могут все еще оставаться предсказуемыми, учитывая изменения в параметрах системы или пограничных условиях.

Холодные дни/холодные ночи Дни, когда максимальная температура, или ночи, когда минимальная температура становится ниже десятого *процентиля* и когда соответствующие распределения температуры, как правило, определяются относительно *эталонного* периода 1961–1990 гг. Соответствующие индексы см. во вставке 2.4.

Хорошо смешиваемый парниковый газ См. *Парниковый газ*.

Хронология Расположение событий в соответствии с датами или сроками наступления.

ХФУ См. *Галогенуглероды*.

Циркуляций Брюера-Добсона Меридиональная и термогалинная циркуляция *стратосферы*, в результате которой воздушная масса переносится в верхнем направлении в тропиках, в направлении полюса в зимнем полушарии, и в нижнем направлении в полярных или субполярных широтах. Циркуляция Брюера-Добсона образуется вследствие взаимодействия между восходящими планетарными волнами и средним потоком.

Циркуляция Уокера Непосредственная термически обусловленная зональная опрокидывающая циркуляция в *атмосфере* над тропической частью Тихого океана, сопровождаемая усилением ветра в западной части Тихого океана и стихающим ветром в его восточной части.

Циркуляция Хэдли Прямая, термически обусловленная опрокидывающая ячейка в *атмосфере*, состоящая из направленного к полюсам потока в верхних слоях *тропосферы*, воздуха, оттекающего к субтропическим антициклонам, возвратного потока как части муссонов у поверхности и восходящего потока вблизи экватора в так называемой *Внутритропической зоне конвергенции*.

Черный углерод (ЧУ) Виды *аэрозоля*, оперативно определенные на основе изменения коэффициента поглощения света и химической активности и/или температурной устойчивости. Иногда называется сажей.

Четвертичная система Четвертичная система – это последняя из трех систем, составляющих *Кайнозойскую эру* (65 млн. лет тому назад), отсчет которой начался 2,59 млн. лет тому назад и которая включает эпохи *Плейстоцена* и *Голоцена*.

Чувствительность климата В докладах МГЭИК *равновесная чувствительность климата* (единица измерения: °C) означает изменение равновесного (стабильного) состояния средней годовой *глобальной приземной температуры* в ответ на удвоение *концентрации эквивалента двуокиси углерода* в атмосфере. Вследствие вычислительных ограничений равновесная чувствительность климата в *модели климата* иногда оценивается посредством прогона модели общей атмосферной циркуляции, сопряженной с моделью перемешенного слоя океана, поскольку равновесная чувствительность климата в значительной мере определяется атмосферными процессами. Эффективные модели могут прогоняться до состояния равновесия с динамикой океана. *Параметр чувствительности климата* (единица измерения: °C (Вт м⁻²)⁻¹) есть изменение средней годовой глобальной приземной температуры в ответ на единичное изменение *радиационного воздействия*.

Эффективная чувствительность климата (единица измерения: °C) представляет собой оценку реакции средней глобальной приземной температуры на удвоение концентрации *диоксида углерода*, которая измеряется по результатам моделирования или данным наблюдений изменения условий в неравновесном состоянии. Она является мерой силы *климатических обратных связей* в конкретный момент времени и может

изменяться по мере изменения тенденции внешнего воздействия и состояния *климата* и поэтому может отличаться от чувствительности климата в равновесном состоянии.

Неравновесная реакция климата (единица измерения: °C) – это изменение средней глобальной приземной температуры, усредненное за период более 20 лет с центром во временной точке удвоения концентрации двуокиси углерода в атмосфере в модели климата, в которой количество CO₂ увеличивается на 1% в год. Это является мерой силы и скорости реакции приземной температуры на воздействие *парниковых газов*.

Чувствительность системы Земля Реакция равновесной температуры сопряженной системы *атмосфера-океан-криосфера-растительность-углеродный цикл* на удвоение концентрации CO₂ в атмосфере именуется чувствительностью системы Земля. Поскольку она позволяет медленным компонентам (например, *ледяные щиты*, растительность) *климатической системы* приспособиться к внешнему возмущению, она может существенно отличаться от *чувствительности климата*, выведенной на основе сопряженных моделей атмосфера–океан.

Шельфовый ледник Плавающая ледовая плита значительной толщины, простирающаяся от берега (обычно большой горизонтальной протяженности со слегка наклоненной поверхностью), часто заполняющая заливы по береговой линии *ледяного щита*. Почти все шельфовые ледники находятся в Антарктике, где большая часть льда, сбрасываемого в море, попадает на шельфовые ледники.

Штормовой нагон Временное повышение в конкретном месте уровня моря в результате экстремальных метеорологических условий (низкое атмосферное давление и/или сильные ветры). Штормовой нагон определяется как превышение того уровня, который ожидается в данное время и в данном месте только из-за приливного изменения.

Щелочность Мера способности водного раствора нейтрализовать кислоты.

Эвапотранспирация Комбинированный процесс испарения с поверхности Земли и транспирации растительности.

Эквивалент CO₂ См. *Эквивалент диоксида углерода*.

Эквивалент уровня моря (ЭУМ) Эквивалент уровня моря массы воды (лед, жидкость или пар) – это термин для обозначения этой массы, преобразованной в показатель объема массы при плотности 1000 кг м⁻³ и поделенной на нынешнюю площадь поверхности океана в 3,625 × 10¹⁴ м². Таким образом, добавление в океан массы воды в 362,5 Гт вызовет подъем глобального *среднего уровня моря* на 1 мм. См. также *Изменение уровня моря*.

Эквивалентный выброс диоксида углерода (CO₂) Объем выброса *диоксида углерода*, который вызвал бы такое же общее *радиационное воздействие* за данный период времени, что и объем выброса *парникового газа* или смеси парниковых газов. Эквивалентный выброс диоксида углерода получают путем умножения объема выброса парникового газа на его *потенциал глобального потепления* за данный период времени. Для смеси парниковых газов его получают путем суммирования эквивалентных выбросов диоксида углерода по каждому газу смеси. Эквивалентный выброс диоксида углерода – это *общая величина* для сравнения выбросов разных парниковых газов, однако она не означает полную эквивалентность соответствующих ответных мер на *изменение климата*. См. также *Эквивалентная концентрация диоксида углерода*.

Эквивалентная концентрация диоксида углерода (CO₂) Концентрация *диоксида углерода*, которая вызвала бы такое же *радиационное воздействие*, что и данная смесь диоксида углерода или других воздействующих компонентов. Эти значения могут относиться только к *парниковым газам* или смеси парниковых газов и *аэрозолей*. Эквивалентная концентрация диоксида углерода – это *метрика* для сравнения радиационного воздействия смеси разных парниковых газов в конкретный момент времени, но она не означает эквивалентность соответствующих мер реагирования на изменение климата или будущее воздействие. Как правило, нет никакой связи между *эквивалентными выбросами двуокиси углерода* и результирующими эквивалентными концентрациями диоксида углерода.

Экосистема Экосистема – это функциональная единица, состоящая из живых организмов, их неживой окружающей среды, а также взаимодействий внутри них и между ними. Компоненты, включаемые в данную экосистему и ее пространственные границы, зависят от той цели, для которой выделялась данная экосистема. В некоторых случаях они являются относительно ярко выраженными, а в других весьма расплывчатыми. Границы экосистемы могут со временем меняться. Экосистемы расположены внутри других экосистем, и их масштабы могут лежать в пределах от весьма незначительных до всей *биосферы*. В настоящее время в большинстве экосистем люди фигурируют либо в качестве ключевых организмов, либо эти экосистемы находятся под воздействием результатов деятельности человека, происходящей в их окружающей среде.

Эксперимент с равновесным и переходным состоянием климата Эксперимент с *равновесным состоянием климата* представляет собой эксперимент с *климатической моделью*, в ходе которого данная модель может полностью корректироваться в соответствии с изменением *радиационного воздействия*. Такие эксперименты дают информацию о разнице между начальным и конечным состояниями модели, но не о закономерности реагирования во времени. Если допускается постепенное изменение воздействия в соответствии с заданным *сценарием выбросов*, то возможен анализ закономерности реагирования климатической модели во времени. Такой эксперимент называется *экспериментом с переходным состоянием климата*. См. также *Проекция климата*.

Экстремальное климатическое явление См. *Экстремальное метеорологическое явление*.

Экстремальное метеорологическое явление Экстремальное метеорологическое явление представляет собой явление, которое редко наблюдается в конкретном месте и в конкретное время года. Определений понятия редко множество, однако метеорологическое явление обычно считается экстремальным, если наблюдается столь же редко или еще реже, чем 10-й или 90-й *процентиль функции распределения вероятностей*, оцениваемой по данным наблюдений. По определению, характеристики того, что называют *экстремальной погодой*, в абсолютном смысле могут варьировать в зависимости от того или иного места. Если режим экстремальной погоды сохраняется некоторое время, например в течение сезона, то его можно классифицировать как *экстремальное климатическое явление*, особенно если он приводит в среднем или в целом к явлению, которое само по себе является экстремальным (например, *засуха* или сильные дождевые осадки в течение сезона).

Экстремальный уровень моря См. *Штормовой нагон*.

Электромагнитный спектр Длина волны или энергетический диапазон любой электромагнитной радиации. В плане *солнечной радиации спектральное излучение* – это мощность, достигающая Землю в расчете на единицу площади, единицу длины волны.

Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) Термин *Эль-Ниньо* первоначально использовался для описания теплого течения, которое периодически проходит вдоль побережья Эквадора и Перу, нарушая местный рыбный промысел. С тех пор его связывают с потеплением бассейнового масштаба в тропической части Тихого океана на восток от линии смены дат. Это океаническое явление связывается с флуктуацией режима приземного давления глобального масштаба в тропических и субтропических районах, называемой *Южным колебанием*. Это явление в сопряженной системе *атмосфера-океан*, преобладающий временной масштаб которого составляет от 2 до почти 7 лет, известно под названием Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК). Его часто измеряют разностью аномалий приземного давления между Таити и Дарвином или *температурами поверхности моря* в центральной и восточной экваториальных частях Тихого океана. Во время явления ЭНЮК преобладающие пассаты слабеют, уменьшая апвеллинг и изменяя океанические течения, поэтому температура поверхности моря повышается, еще больше ослабляя пассаты. Это явление существенно влияет на ветер, температуру поверхности моря и характер осадков в тропической части Тихого океана. Его климатическое воздействие ощущается в пределах всего *региона* Тихого океана и во многих других частях Земного шара из-за глобальных *дальних корреляционных связей*. Холодная фаза ЭНЮК называется *Ла-Нинья*. Соответствующие индексы см. во вставке 2.5.

Энергетический баланс Разница между общей поступающей и общей исходящей энергией. Если этот баланс положительный, происходит потепление; если он отрицательный, происходит похолодание. Усредненный в масштабах земного шара и за длительные времена этот баланс должен равняться нулю. Поскольку *климатическая система* получает практически всю свою энергию от Солнца, то нулевой баланс предполагает, что в глобальном плане количество поглощенной *солнечной радиации* представляет собой равенство между *поступающей солнечной радиацией* минус солнечная радиация, отраженная верхним слоем *атмосферы*, и *исходящей длинноволновой радиацией*, испускаемой климатической системой. См. также *Энергетический бюджет*.

Энергетический бюджет (Земли) Земля – это физическая система, энергетический бюджет которой включает все плюсы приходящей энергии и все минусы исходящей энергии. Энергетический бюджет Земли определяется посредством измерения того количества энергии, которое поступает в систему Земля от Солнца; количества энергии, которое теряется в космосе, и того количества оставшейся части энергии, которое остается в системе Земля, включая ее *атмосферу*. *Солнечная радиация* является доминирующим источником энергии в системе Земля. Приходящая солнечная энергия может рассеиваться, отражаться облаками и *аэрозолями* или поглощаться атмосферой. После этого излученная радиация либо поглощается, либо отражается поверхностью Земли. Среднее *альбедо* Земли составляет приблизительно 0,3, что означает, что 30 % приходящей солнечной энергии отражается в космос, а 70 % поглощается Землей. Радиационная солнечная или коротковолновая энергия преобразуется в физическое тепло, скрытую энергию (изменения состояния воды), потенциальную энергию и кинетическую энергию перед тем, как произойдет ее выброс в виде *инфракрасного излучения*. При средней *приземной температуре* Земли порядка 15 °C (288 K) основной исходящий поток энергии образует инфракрасную часть спектра. См. также *Энергетический баланс*, *Скрытый поток тепла*, *Физический поток тепла*.

Эффективная чувствительность климата См. *Чувствительность климата*.

Эффективное радиационное воздействие См. *Радиационное воздействие*.

Эффективность Мера того, насколько эффективно *радиационное воздействие* данного *антропогенного* или естественного механизма влияет на изменение равновесной *средней глобальной приземной температуры* по сравнению с эквивалентным *радиационным воздействием диоксида углерода*. Повышение концентрации диоксида углерода по определению имеет эффективность 1,0. Колебания климатической эффективности могут быть результатом *быстрых подстроек* к происходящему воздействию, которое меняется в зависимости от вида воздействия.

Эффективность поглощения тепла океаном Эффективность поглощения тепла океаном – это мера ($\text{Вт м}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) скорости, с которой усиливается аккумуляция тепла глобальным океаном по мере повышения *глобальной средней приземной температуры*. Это полезный параметр для экспериментов по *изменению климата*, в которых *радиационное воздействие* изменяется монотонно, когда его можно сравнивать с *параметром климатической обратной связи* для измерения относительной значимости реакции климата и *поглощения* тепла океаном при определении темпов изменения климата. Этот параметр можно оценивать посредством такого эксперимента, как определение отношения скорости увеличения содержания тепла в океане к изменению средней глобальной приземной температуры воздуха.

Южная кольцевая мода (ЮКМ) Мода, определяющая изменчивость геопотенциальной высоты Южного полушария, которая связана со сдвигами широты струйного течения в средних широтах. См. Индекс ЮКМ, вставка 2.5.

Южное колебание См. *Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК)*.

Явления Дансгаарда-Эшгера Внезапные явления, нашедшие отражение в *ледовых ядрах*, извлеченных в Гренландии, и в *палеоклиматических данных* из близлежащих районов Северной Атлантики, которые показывают, что за холодным ледниковым периодом последовал быстрый переход к более теплой фазе, а затем медленное похолодание вплоть до наступления ледниковых условий. Явления, аналогичные явлениям Дансгаарда-Эшгера, наблюдаются также в других регионах.

Справочная литература

- AMS, 2000: *AMS Glossary of Meteorology*, 2nd Ed. American Meteorological Society, Boston, MA, <http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse>.
- Hegerl, G.C., O. Hoegh-Guldberg, G. Casassa, M.P. Hoerling, R.S. Kovats, C. Parmesan, D.W. Pierce, P.A. Stott, 2010: Good Practice Guidance Paper on Detection and Attribution Related to Anthropogenic Climate Change. In: *Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Detection and Attribution of Anthropogenic Climate Change* [Stocker, T.F., C.B. Field, D. Qin, V. Barros, G.-K. Plattner, M. Tignor, P.M. Midgley, and K.L. Ebi (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland.
- МГЭИК, 1992 г.: *Изменение климата, 1992 г.: Дополнительный доклад к научной оценке МГЭИК* [Houghton, J.T., B.A. Callander, and S.K. Varney (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 116 pp.
- МГЭИК, 1996 г.: *Изменение климата, 1995 г.: Научные аспекты проблемы изменения климата. Вклад Рабочей группы I во Второй доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата* [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 pp.
- МГЭИК, 2000 г.: *Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство. Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата* [Watson, R.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 377 pp.
- МГЭИК, 2001 г.: *Изменение климата, 2001 г.: Научные аспекты. Вклад Рабочей группы I в Третий доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата* [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
- МГЭИК, 2003 г.: *Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-Induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types* [Penman, J., et al. (eds.)]. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan, 32 pp.
- МГЭИК, 2007 г.: *Изменение климата, 2007 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата*. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- МГЭИК, 2011 г.: *Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Impacts of Ocean Acidification on Marine Biology and Ecosystems* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, K.J. Mach, G.-K. Plattner, M.D. Mastrandrea, M. Tignor and K.L. Ebi (eds.)]. IPCC Working Group II Technical Support Unit, Carnegie Institution, Stanford, California, United States of America, pp. 164.
- МГЭИК, 2012 г.: *Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Geoengineering* [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, C. Field, V. Barros, T.F. Stocker, Q. Dahe, J. Minx, K. Mach, G.-K. Plattner, S. Schlömer, G. Hansen, M. Mastrandrea (eds.)]. IPCC Working Group III Technical Support Unit, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany, pp. 99.
- Manning, M., et al., 2004: *IPCC Workshop on Describing Scientific Uncertainties in Climate Change to Support Analysis of Risk of Options*. Workshop Report. IPCC Working Group I Technical Support Unit, Boulder, Colorado, USA, 138 pp.
- Mastrandrea, M.D., C.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W. Yohe, and F.W. Zwiers, 2010: *Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Moss, R., and S. Schneider, 2000: *Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to Lead Authors for More Consistent Assessment and Reporting*. In: IPCC Supporting Material: Guidance Papers on Cross Cutting Issues in the Third Assessment Report of the IPCC. [Pachauri, R., T. Taniguchi, and K. Tanaka (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, pp. 33–51.
- Moss, R., et al., 2008: *Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 pp.
- Moss, R. et al., 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747-756.
- Nakićenović, N., and R. Swart (eds.), 2000: *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.
- Schwartz, S.E., and P. Warneck, 1995: Units for use in atmospheric chemistry. *Pure Appl. Chem.*, 67, 1377–1406.

