



ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, 2007г.

ФИЗИЧЕСКАЯ НАУЧНАЯ ОСНОВА



Вклад Рабочей группы I в Четвертый доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата об оценках.

Резюме для политиков, Техническое резюме и Часто задаваемые вопросы



Изменение климата, 2007 г. Физическая научная основа

Часть вклада Рабочей группы I
в Четвертый доклад Межправительственной группы экспертов по
изменению климата об оценках

Изменение климата, 2007 г. Физическая научная основа

Редакторы:

Сьюзен Соломон

Сопредседатель,
Рабочей группы I МГЭИК

Дахе Чин

Сопредседатель
Рабочей группы I МГЭИК

Мартин Мэннинг

Глава отдела технической поддержки
Рабочей группы I МГЭИК

Предисловие

Представляя первую значительную глобальную оценку науки об изменении климата за шесть лет, доклад «Изменение климата, 2007 г.: физическая научная основа» быстро привлек внимание как политиков, так и широкой публики. Доклад подтверждает, что наше научное понимание климатической системы и ее чувствительности к выбросам парниковых газов стало богаче и глубже, чем когда-либо. Доклад также отображает динамичный исследовательский сектор, который в последующие годы еще более проникнет в суть изменения климата.

Своей точностью и достоверностью доклад обязан уникальному характеру Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Созданная Всемирной метеорологической организацией и Программой ООН по окружающей среде в 1988 году, МГЭИК представляет собой и межправительственный орган, и сеть ведущих ученых и экспертов мира в области науки об изменении климата.

В главах, составляющих основу доклада, изложена оценка учеными состояния знаний в их соответствующих областях. Эти главы написаны 152 ведущими авторами-координаторами и ведущими авторами более чем из 30 стран и изучены более чем 600 рецензентами-экспертами. Свои рецензии-комментарии предоставили также многие правительственные рецензенты.

«Резюме для политиков» было одобрено официальными лицами 113 правительств и представляет их понимание всего основного доклада – и их сопричастность с ним. Именно в этом сочетании точек зрения экспертов и правительственных специалистов и заключается сила МГЭИК.

МГЭИК не проводит новых исследований. Его мандат заключается в том, чтобы давать оценки – стратегически-обоснованные, а не стратегически-предписывающие – существующей в мире литературы по научным, техническим и социально-экономическим аспектам изменения климата. Предыдущие оценки МГЭИК об оценке помогли вдохновить правительства на принятие и выполнение Рамочной конвенции ООН об изменении климата и Киотского протокола. Данный доклад также будет очень уместен, потому что правительства рассматривают возможные варианты дальнейшего совместного продвижения вперед для решения проблемы изменения климата.

«Изменение климата, 2007 г.: физическая научная основа» – первый том Четвертого доклада МГЭИК об оценках. Во втором томе рассматриваются последствия изменения климата, уязвимые стороны и варианты адаптации, а в третьем оцениваются возможности смягчения последствий и затраты на них. В четвертом томе синтезированы общие выводы МГЭИК.

«Физическая научная основа» стала возможной благодаря преданности и добровольному труду ведущих климатологов мира. Мы хотели бы выразить благодарность всем ведущим авторам-координаторам, ведущим авторам, содействующим авторам, редакторам и рецензентам. Мы хотели бы также поблагодарить персонал отдела технической поддержки Рабочей группы I и Секретариата МГЭИК за самоотверженность в координации выпуска еще одного успешного доклада МГЭИК.

«Научно-физическая основа» стала возможной благодаря преданности и добровольному труду ведущих климатологов мира. Мы хотели бы выразить благодарность всем ведущим авторам-координаторам, ведущим авторам, содействующим авторам, редакторам и рецензентам. Мы хотели бы также поблагодарить персонал отдела технической поддержки Рабочей группы I и Секретариата МГЭИК за самоотверженность в координации

выпуска еще одного успешного доклада МГЭИК.

.Многие правительства поддержали участие своих ученых в процессе работы МГЭИК и внесли вклад в Доверительный фонд МГЭИК, обеспечивая таким образом участие экспертов из развивающихся стран и стран с переходной экономикой. Правительства Италии, Китая, Новой Зеландии и Норвегии принимали заседания по подготовке доклада, а правительство Франции – заключительное пленарное заседание, которое утвердило и приняло доклад. Правительство США финансировало отдел технической поддержки Рабочей группы I.

Наконец, мы хотели бы поблагодарить д-ра Р.К. Пачаури, председателя МГЭИК, за его разумное управление, неустанное и компетентное руководство МГЭИК, д-ра Сьюзен Соломон и проф. Дахе Кин, сопредседателей Рабочей группы I, за их умелое руководство Рабочей группой I в ходе подготовки этого доклада.



М. Жарро
Генеральный секретарь
Всемирной метеорологической организации



А. Штайнер
Исполнительный директор
Программы ООН по окружающей среде

Данный вклад Рабочей группы I в Четвертый доклад об оценках (ДО4) содержит всестороннюю оценку естественной науки об изменении климата и продолжает расширять взгляд этой науки, исходя из предыдущих оценок Рабочей группы I. Представленные здесь результаты основаны на обширной научной литературе, которая вышла в свет после завершения подготовки Третьего доклада МГЭИК об оценке, а также на расширенных наборах данных, новом анализе и более развитых возможностях моделирования климата.

Доклад подготовлен в соответствии с правилами и процедурами, установленными МГЭИК и использованными при подготовке предыдущих докладов об оценке. План доклада был согласован на 21-й сессии Группы экспертов в ноябре 2003 года, а ведущие авторы были утверждены на 31-й сессии Бюро МГЭИК в апреле 2004 года. Проекты материалов, подготовленные авторами, прошли два этапа изучения и проверки, в ходе которых было получено более 30 тысяч письменных комментариев от более чем 650 экспертов, правительств и международных организаций. Редакторы-рецензенты по каждой главе обеспечили, чтобы все существенные комментарии правительств и отдельных экспертов были надлежащим образом учтены. «Резюме для политиков» было построено утверждено на 10-й сессии Рабочей группы I МГЭИК 29 января – 1 февраля 2007 года; там же были приняты и основные главы.

Предметная сфера Доклада

Доклад Рабочей группы I сосредоточен на тех аспектах текущего понимания естественной науки об изменении климата, которые считаются наиболее значимыми для лиц, формирующих политику. Авторы не пытаются пересмотреть эволюцию научного понимания или охватить всю климатологию. Кроме того, данная оценка базируется на соответствующей научной литературе, доступной авторам на середину 2006 года, и читатель должен признать, что некоторые освещенные здесь предметы, возможно, продолжают быстро развиваться.

Одной из особенностей последних исследований изменения климата является объем наблюдений, которые сейчас возможны для различных компонентов климатической системы, в том числе атмосферы, океанов и криосферы. Дополнительные наблюдения и анализ расширили наше понимание и позволили уменьшить многие неопределенности. Новая информация, кроме того, привела к ряду новых вопросов в таких областях, как непредвиденные изменения в ледовых щитах, их возможный эффект на повышение уровня моря, последствия сложных взаимодействий между изменением климата и биогеохимией.

Рассматривая прогнозы будущих изменений климата, авторы доклада следуют решениям, принятым Группой экспертов в ходе процесса определения предметной сферы и утверждения ДО4, с целью использования сценариев выбросов, которые МГЭИК ранее оценивала на предмет согласованности в рамках всех трех Рабочих групп. При этом, однако, была признана и ценность информации, полученной из новых моделей климата и касающейся стабилизации климата. С целью освещения обеих тем группы моделирования климата провели соответствующую работу по моделированию, которая включала идеализированные эксперименты, в которых состав атмосферы оставался постоянным. Вместе с моделированием ансамблей моделей климата, в том числе множества прогонов моделей на 20-й и 21-й

века, авторы оценки смогли учесть гораздо больше результатов моделирования, чем любая другая предыдущая оценка изменения климата.

Оценка МГЭИК последствий изменения климата, вариантов реагирования на такие последствия или предотвращения их входила в компетенцию Рабочих групп II и III, поэтому она здесь не освещена. В частности, хотя в данном докладе представлены результаты ряда сценариев выбросов, согласующихся с предыдущими докладами, обновленную оценку правдоподобного диапазона будущих выбросов может провести только Рабочая группа III.

Структура Доклада

Данная оценка Рабочей группы I впервые включает вводную главу (глава 1), в которой освещены пути, которыми развивалась наука об изменении климата, включая обзор методов, используемых в науке об изменении климата, роль моделей климата и эволюцию трактовки неопределенностей.

В главах 2 и 7 рассматриваются измерения в компонентах атмосферы (как газах, так и аэрозолях), влияющие на радиационный энергетический баланс в атмосфере и определяющие климат Земли. В главе 2 представлена точка зрения, основанная на наблюдаемых изменениях в атмосфере, и рассмотрено важнейшее понятие радиационного воздействия. Глава 7 дополняет этот материал, уделяя внимание рассмотрению взаимодействий между биогеохимическими циклами, которые влияют на компоненты атмосферы и изменение климата, в том числе взаимодействие аэрозолей и облаков.

В главах 3, 4 и 5 освещен широкий спектр наблюдений, которые сейчас возможны для изучения, соответственно, атмосферы и земной поверхности, снега, льда и мерзлого грунта и океанов. Хотя наблюдаемые изменения в этих компонентах климатической системы тесно взаимосвязаны через физические процессы, именно в отдельных главах возможна более сфокусированная оценка имеющихся данных и их неопределенностей, в том числе дистанционных данных, получаемых со спутников. В главе 5 освещены наблюдаемые изменения уровня моря и признается наличие сильных взаимосвязей между ними и теплосодержанием океана.

В главе 6 представлена палеоклиматическая точка зрения и оценены доказательства прошлых изменений климата и степень, в которой их объясняет наше нынешнее научное понимание. Глава включает новую оценку реконструированных температур за последние 1300 лет.

В главе 8 освещены методы моделирования физических процессов при помощи моделей климата и дана оценка моделей на предмет согласованности с наблюдаемым климатом, включая его среднее состояние и изменчивость. В главе 9 освещен тесно связанный с вышеупомянутым вопрос: степень, в которой наблюдаемое изменение климата может быть объяснено различными причинами, как естественными, так и антропогенными.

В главе 10 освещено использование моделей климата для прогнозирования глобального климата, включая их неопределенности. Показаны результаты для различных уровней будущей концентрации парниковых газов, дана вероятностная оценка ряда физических реакций климатической системы, описаны временные масштабы и задержки, связанные с такими

реакциями. В главе 11 представлены региональные проекции изменения климата, соответствующие глобальным проекциям. Глава включает оценку достоверности моделей на региональных уровнях и описание факторов, которые могут значительно влиять на изменение климата в региональном масштабе.

«Резюме для политиков» (РП) и «Техническое резюме» (ТР) данного доклада имеют параллельную структуру, и каждая из этих частей включает перекрестные ссылки на главы и разделы основного доклада, где изложенный в резюме материал представлен в полном виде. Благодаря этому вышеупомянутые резюме создают своеобразный путеводитель по содержанию всего доклада, и читателю предлагается пользоваться РП и ТР именно таким образом.

Новшеством в этом докладе является включение раздела из 19 часто задаваемых вопросов, в котором авторы дают научные ответы на ряд общих вопросов в форме, которая будет полезной для широкого круга учебных целей. Наконец, отчет сопровождается почти 250 страницами дополнительных материалов, которые были проверены параллельно с проектами глав и которые имеются на компакт-дисках и в Интернет-версиях доклада, что обеспечивает дополнительный уровень детализации; это, например, результаты отдельных моделей климата.

Некоторые основные стратегически-обоснованные вопросы и проблемы, затронутые в этом докладе, и соответствующие главы

Вопрос	Главы
Каких успехов достигла наука об изменении климата с начала работы МГЭИК?	1
Что известно о естественных и антропогенных факторах, которые способствуют изменению климата, и основных процессах, лежащих в основе изменения?	2, 6, 7
Как, по наблюдениям, климат изменился за время инструментальных измерений?	3, 4, 5
Что известно о палеоклиматических изменениях, до инструментальной эпохи, во временных масштабах от сотен до миллионов лет и о процессах, которые их вызвали?	6, 9
Насколько хорошо мы понимаем антропогенные и естественные вклады в нынешнее изменение климата и как мы можем имитировать изменения в климате с помощью моделей?	8, 9
Как, по прогнозам, климат будет меняться в будущем в глобальном и региональном масштабе?	10, 11
Что известно о прошлых и прогнозируемых изменениях уровня моря, включая роль ледников и ледовых щитов?	4, 5, 6, 10
Изменяются ли и почему экстремальные явления, такие как сильные осадки, засуха, волны тепла, и как, по прогнозам, они будут изменяться в будущем?	3, 5, 9, 10, 11

Выражения признательности

В этой оценке плодотворно использован очень высокий уровень сотрудничества, существующего в международном сообществе климатологов, и его координация со стороны Всемирной программы исследований климата (ВПИК) и Международной геосферно-биосферной программы (МГБП) Всемирной метеорологической организации. В частности, мы хотели бы подчеркнуть колоссальную самоотверженность отдельных сотрудников и агентств 14 групп моделирования климата по всему миру, а также выразить признательность за архивирование и распространение беспрецедентного объема (свыше 30 терабайт) выходных данных моделей климата Программе диагностики и сравнения моделей климата (ПДСМК). Это позволило провести более подробное сравнение существующих моделей климата и дать более полную оценку потенциального характера долговременного изменения климата, чем когда-либо.

Мы должны подчеркнуть, что доклад полностью зависел от квалификации, опыта, упорной работы и преданности делу качества, во всем проявляемыми нашими ведущими авторами-координаторами и ведущими авторами, важную помощь которым оказывали многие содействующие авторы. Кроме того, мы хотели бы выразить свою искреннюю признательность за работу, выполненную нашими экспертами-рецензентами, и признать ценность очень большого количества полученных конструктивных комментариев. Наши рецензенты-редакторы также сыграли важную роль в оказании авторами помощи в проработке этих комментариев.

Бюро Рабочей группы I, Кансри Бунпрагоб, Филиппо Джорджи, Бубу Джаллоу, Жан Жузель, Мария Мартело и Дэвид Рэтт, сыграли роль редколлегии при отборе авторов и при разработке начального

плана доклада. Они оказали конструктивную поддержку сопредседателям Рабочей группы на всех этапах работы, за что мы им весьма признательны.

Наша искренняя благодарность – хозяевам и организаторам четырех встреч ведущих авторов, которые были необходимы для подготовки доклада, и мы с благодарностью упоминаем поддержку, полученную от правительств и организаций Италии, Китая, Новой Зеландии и Норвегии.

Заключительное заседание Рабочей группы I для утверждения доклада стало возможным благодаря г-ну Марку Гилле и щедрости правительства Франции. Кроме того, в значительной степени проведению заседания содействовал Френсис Хейес, заведующий секретариатом конференций ВМО.

Мы с удовольствием выражаем благодарность за неустанную работу персоналу отдела технической поддержки Рабочей группы I, Мелинде Маркис, Кристен Аверит, Рою Миллеру, Тал Кестин и Скотту Лонгмору, которым умело помогали Чен Женлинь, Барбара Кепплер, Мэриэнн Пикконен, Кайл Терран, Лелани Аррис и Мэрилин Андерсон. Благодарим Майкла Шибао и Паулу Мегенхардт за графическую поддержку и дизайн, Рето Стокли за любезно предоставленные фотографии Земли из космоса для обложки данного доклада. Выражаем также признательность Дэвиду Рэтту, Дэвиду Фейхи и Сьюзен Джой Хессол за помощь сопредседателям в разработке и редактировании часто задаваемых вопросов. Должны также поблагодарить Ренате Крайт, Секретаря МГЭИК, и сотрудников Секретариата Лиу Цзянь, Руди Буржуа, Энни Куртин и Джозель Фернандес за материально-техническое обеспечение связи с правительствами и командировок экспертов из развивающихся стран и стран с переходной экономикой.

Раджендра К. Пачаури
Председатель МГЭИК

Сьюзен Соломон
Сопредседатель РГ МГЭИК

Дахе Чин
Сопредседатель РГ МГЭИК

Мартин Мэннинг
Глава ОТП МГЭИК

Содержание

Предисловие

Введение

Резюме для политиков 1

Техническое резюме 19

TS.1 Введение 21

TS.2 Изменения в человеческих и естественных факторах климата 21

TS.3 Наблюдения за изменениями климата 37

TS.4 Понимание и объяснение причин изменения климата 62

TS.5 Прогнозирование будущих изменений климата 72

TS.6 Надежные выводы и ключевые неопределенности 87

Часто задаваемые вопросы 103

FAQ 1.1 Какие факторы определяют климат Земли? 104

FAQ 1.2 Какова связь между изменением климата и погодой? 107

FAQ 1.3 Что такое парниковый эффект? 109

FAQ 2.1 Как деятельность человека влияет на изменение климата и насколько велико ее влияние по сравнению с естественными явлениями? 111

FAQ 3.1 Как изменяется температура на Земле? 114

FAQ 3.2 Как изменяются осадки? 117

FAQ 3.3 Изменились ли экстремальные явления, такие как волны тепла, засуха, наводнения, ураганы? 120

FAQ 4.1 Уменьшается ли количество снега и льда на Земле? 123

FAQ 5.1 Повышается ли уровень моря? 125

FAQ 6.1 Что вызывало ледниковые периоды и другие важные изменения климата до индустриальной эпохи? 127

FAQ 6.2 Является ли нынешнее изменение климата необычным по сравнению с более ранними изменениями в истории Земли? 129

FAQ 7.1 Вызвано ли повышение содержания углекислого газа и других парниковых газов в атмосфере в индустриальную эпоху деятельностью человека? 131

FAQ 8.1 Насколько достоверны модели, с помощью которых составляются проекции будущего изменения климата? 134

FAQ 9.1	Можно ли объяснить отдельные экстремальные явления парниковым потеплением?	136
FAQ 9.2	Можно ли объяснить потепление в 20-м веке естественной изменчивостью?	138
FAQ 10.1	Ожидается ли с изменением климата Земли изменение экстремальных явлений, таких как волны тепла, засуха, наводнения?	141
FAQ 10.2	Насколько вероятны существенные или резкие изменения климата, такие как убыль ледовых щитов или изменения в глобальной океанической циркуляции?	142
FAQ 10.3	Если уменьшить выбросы парниковых газов, как быстро их концентрация в атмосфере снизится?	144
FAQ 11.1	Варьируются ли проекции изменения климата по регионам?	146
Приложение I: Глоссарий		147

Доклад Рабочей группы I Межправительственной группы экспертов по изменению климата

Резюме для политиков

Основные авторы проекта:

Ричард Б. Элли, Терье Бернстен, Натаниэль Л. Биндофф, Чен Женлинь, Амнат Чидтайсонг, Пьер Фридлигстейн, Джонатан М. Грегори, Габриэле С. Хегерл, Мартин Хейманн, Брюс Хьюитсон, Брайан Дж. Хоскинс, Фортунат Джоос, Жан Жузель, Владимир Катцов, Ульрике Ломан, Мартин Мэннинг, Таро Мацуно, Марио Молина, Невилл Николлс, Джонатан Оверлек, Дахе Чин, Грасиэла Рага, Венкатачалам Рамасвами, Дживен Рен, Матильде Рустикуччи, Сюзан Соломон, Ричард Сомервилл, Томас Ф. Стоккер, Питер А. Стотт, Рональд Дж. Стауффер, Пенни Уэттон, Ричард А. Вуд, Дэвид Рэтт

Содействующие авторы проекта:

Дж. Арбластер, Дж. Брасье, Дж. Х. Кристенсен, К.Л. Денман, Д.В. Фейхи, П. Форстер, Е. Янсен, П.Д. Джонс, Р. Кнутти, Х. ле Тройт, П. Лемке, Г. Мель, П. Моут, Д.А. Рэндалл, Д.А. Стоун, К.Е. Тренберт, Дж. Виллебранд, Ф. Цвирс

Цитируя данное «Резюме для политиков», источник следует указывать так:

IPCC, 2007: Summary for Poicymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [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.

(МГЭИК, 2007. «Резюме для политиков», в докладе «Изменение климата, 2007 г.: физическая научная основа. Материал Рабочей группы I к Четвертому докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата об оценках» [Соломон, С., Д. Чин, М. Мэннинг, Чен Женлинь, М. Маркис, К.Б. Аверит, М. Тигнор и Х.Л. Миллер (ред.)])

Введение

В материале Рабочей группы I к Четвертому докладу МГЭИК об оценках описан прогресс в понимании человеческих и естественных факторов изменения климата,¹ наблюдаемого изменения климата, климатических процессов и их причин, а также даны оценки проекций будущего изменения климата. Материал также основывается на предыдущих оценках МГЭИК и включает новые выводы, сделанные по результатам шести лет исследований. Научный прогресс со времени Третьего доклада об оценках (ТДО) основан на больших объемах новых и более всесторонних данных, более сложном анализе данных, лучшем понимании процессов и их моделировании, а также на более глубоком изучении диапазонов неопределенностей.

Основу главных параграфов данного резюме можно найти в разделах глав, указанных в фигурных скобках.

Человеческие и естественные факторы изменения климата

Изменения концентрации в атмосфере парниковых газов и аэрозолей, изменения солнечной радиации и свойств земной поверхности меняют энергетический баланс климатической системы. Эти изменения выражаются термином «радиационное воздействие»,² которое используется для сравнения того, как в силу целого ряда человеческих и естественных факторов на глобальный климат оказывается нагревающее или охлаждающее влияние. С момента выпуска ТДО новые наблюдения и соответствующее моделирование парниковых газов, солнечной активности, свойств земной поверхности и некоторых особенностей аэрозолей привели к улучшению количественных оценок радиационного воздействия.

Глобальные концентрации углекислого газа, метана и закиси азота в атмосфере заметно повысились в результате деятельности человека с 1750 года и сейчас далеко превосходят допромышленные значения, определенные по кернам льда, охватывающим многие тысячи лет (см. рис. SPM.1). Глобальное повышение концентрации углекислого газа обусловлено в основном использованием ископаемых видов топлива и изменениями в землепользовании, а повышение концентрации метана и закиси азота вызвано преимущественно сельским хозяйством. {2.3, 6.4, 7.3}

- Углекислый газ – самый важный антропогенный парниковый газ (см. рис. SPM.2). Глобальная концентрация углекислого газа в атмосфере увеличилась с 280 ppm в доиндустриальную эпоху до 379 ppm³ в 2005 году. В 2005 году концентрация углекислого газа в атмосфере значительно превышает естественный диапазон за последние 650 тыс. лет (180-300 ppm), определенный по кернам льда. Годовые темпы роста концентрации углекислого газа за последние 10 лет (средний темп за 1995–2005 годы – 1,9 ppm в год) выше, чем с начала непрерывных прямых атмосферных измерений (среднее за 1960–2005 годы: 1,4 ppm в год), хотя по годам темпы роста и разнятся. {2.3, 7.3}
- Главный источник повышенной концентрации углекислого газа в атмосфере – доиндустриальных времен – использование ископаемых видов топлива; свой, хотя и меньший вклад, вносят также изменения в землепользовании. Объем выбросов ископаемого углекислого газа⁴

¹ Изменение климата в терминологии МГЭИК означает всякое изменение климата во времени, как вследствие естественной изменчивости, так и в результате деятельности человека. Такой вариант использования отличается от принятого в Рамочной конвенции ООН об изменении климата, где изменение климата означает изменение, которое прямо или косвенно обусловлено деятельностью человека, вызывающей изменения в составе глобальной атмосферы, и накладываемая на естественные колебания климата, наблюдаемые на протяжении сопоставимых периодов времени.

² Радиационное воздействие – это мера влияния, которое тот или иной фактор оказывает на изменение баланса поступающей и уходящей энергии в системе «Земля-атмосфера», показатель важности фактора как потенциального механизма изменения климата. Положительное воздействие обычно нагревает земную поверхность, а отрицательное – охлаждает ее. В данном докладе значения радиационного воздействия даны на 2005 год относительно доиндустриальных условий, определенных на 1750 год, и выражены в ваттах на квадратный метр (Вт/м²). Дополнительные подробности см. в Глоссарии и разделе 2.2.

³ 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.

⁴ Выбросы ископаемого углекислого газа включают выбросы от производства, распределения и потребления ископаемых видов топлива, а также выбросы как побочного продукта производства цемента. Выброс 1 ГтС соответствует 3,67 ГтCO₂.

⁵ В общем области неопределенности результатов, данных в настоящем резюме, равны 90% интервалов неопределенности, если не указано иного, т.е. существует 5% оценка правдоподобия того, что значение может быть выше диапазона, указанного в квадратных скобках, и 5% оценка правдоподобия того, что значение может быть ниже этого диапазона. Где возможно, даны наилучшие оценки. Оцениваемые интервалы неопределенности не всегда симметричны относительно соответствующей наилучшей оценки. Отметим, что число областей неопределенности в ТДО Рабочей группы I соответствовало 2 квадратичным отклонениям (95%), и часто использовалась экспертная оценка.

Изменение концентрации парниковых газов по данным

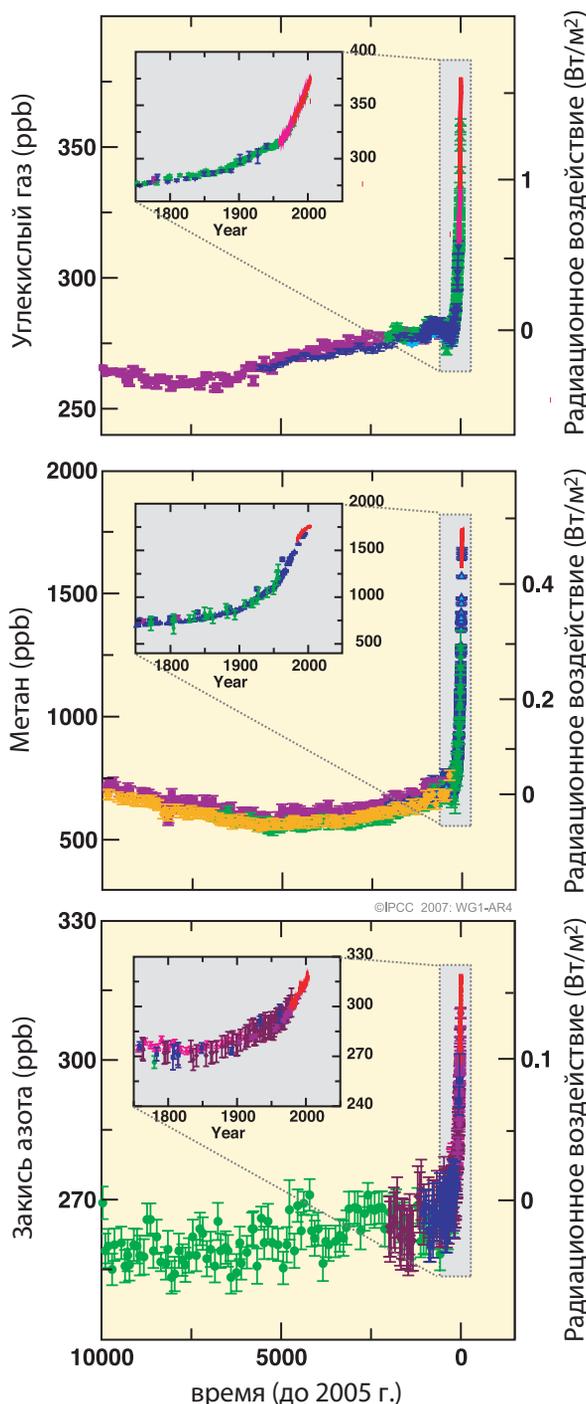


Рис. SPM.1. Концентрации в атмосфере углекислого газа, метана и закиси азота за последние 10 тыс. лет (большие панели) и с 1750 г. (врезки). Измерения сделаны по кернам льда (для разных исследований - символы разного цвета) и по атмосферным пробам (красные линии). Соответствующие радиационные воздействия показаны на правой оси больших панелей. {Рис. 6.4}

увеличился в среднем с 6,4 [6,0-6,8]5 ГтС (23,5 [22,0-25,0] ГтCO₂) в год в 1990-е годы до 7,2 [6,9-7,5] ГтС (26,4 [25,3-27,5] ГтС) в год в 2000–2005 годах (данные за 2004 и 2005 годы – предварительные оценки). Объем выбросов углекислого газа за счет изменений в землепользовании в 1990-е годы составляет, по оценкам, 1,6 [0,5-2,7] ГтС (5,9 [1,8-9,9] ГтCO₂) в год, хотя в этих оценках есть большая неопределенность. {7.3}

- Глобальная концентрация метана в атмосфере выросла с доиндустриального значения около 715 ppb до 1732 ppb в начале 1990-х годов, а в 2005 году составила 1774 ppb. Концентрация метана в атмосфере в 2005 году намного превышает естественный диапазон за последние 650 тыс. лет (320-790 ppb), определенный по кернам льда. Темпы роста с начала 1990-х годов снизились, так как общий объем выбросов (сумма антропогенных и естественных источников) за этот период был практически постоянным. *Весьма вероятно*,⁶ что наблюдаемый рост концентрации метана обусловлен антропогенной деятельностью, в основном сельским хозяйством и использованием ископаемых видов топлива, однако относительные вклады других типов источников определены не точно. {2.3, 7.4}
- Глобальная концентрация закиси азота в атмосфере повысилась с доиндустриального уровня, около 270 ppb, до 319 ppb в 2005 году. Темпы роста приблизительно постоянны с 1980 года. Более трети всех выбросов закиси азота носят антропогенный характер и вызваны в основном сельским хозяйством. {2.3, 7.4}

Понимание антропогенных нагревающих и охлаждающих воздействий на климат со времени публикации ТДО улучшилось, что привело к очень высокой степени достоверности⁷ в том, что глобальный средний чистый эффект деятельности человека с 1750 года – нагревание, с радиационным воздействием +1,6 [от +0,6 до +2,4] Вт/м² (см. рис. SPM.2). {2.3., 6.5, 2.9}

⁶ В этом резюме использованы следующие термины для обозначения оцениваемого правдоподобия результата с использованием экспертной оценки: практически определено - вероятность события > 99% ; чрезвычайно вероятно - > 95%, весьма вероятно - > 90%, вероятно - > 66%, скорее вероятно, чем нет - > 50%, маловероятно - < 33%, весьма маловероятно - < 10%, чрезвычайно маловероятно - < 5% (детали см. во вставке TS.1).

⁷ В этом резюме использованы следующие степени достоверности для выражения экспертных оценок правильности основополагающих научных выводов: очень высокая степень достоверности – минимум 9 из 10 шансов на то, что вывод правильный, высокая степень достоверности – около 8 из 10 шансов на то, что вывод правильный (см. вставку TS.1).

- Совокупное радиационное воздействие вследствие повышения концентрации углекислого газа, метана и закиси азота равно +2,30 [+2,07 - +2,53] Вт/м², и весьма вероятно, что темпы ее роста в индустриальную эпоху беспрецедентны более чем за 10 тыс. лет (см. рис. SPM.1 и SPM.2). Радиационное воздействие углекислого газа за период с 1995 до 2005 года возросло на 20%, что стало наибольшим изменением за любое десятилетие минимум за последние 200 лет. {2.3, 6.4}
- Антропогенные выбросы аэрозолей (в основном сульфата, органического углерода, сажи, нитрата и в совокупности дают охлаждающий эффект, с

суммарным прямым радиационным воздействием -0,5 [-0,9 - -0,1] Вт/м² и косвенным воздействием альbedo облаков -0,7 [-1,8 - -0,3] Вт/м². Эти воздействия сейчас поняты лучше, чем во время ТДО, благодаря более качественным измерениям в точке, со спутников и с земной поверхности, а также более всестороннему моделированию, однако они продолжают оставаться главной неопределенностью в радиационном воздействии. Аэрозоли также влияют на время жизни облаков и на количество осадков. {2.4, 2.9, 7.5}

- Значительный антропогенный вклад в радиационное воздействие дают некоторые другие источники. Изменения содержания

Компоненты радиационного воздействия

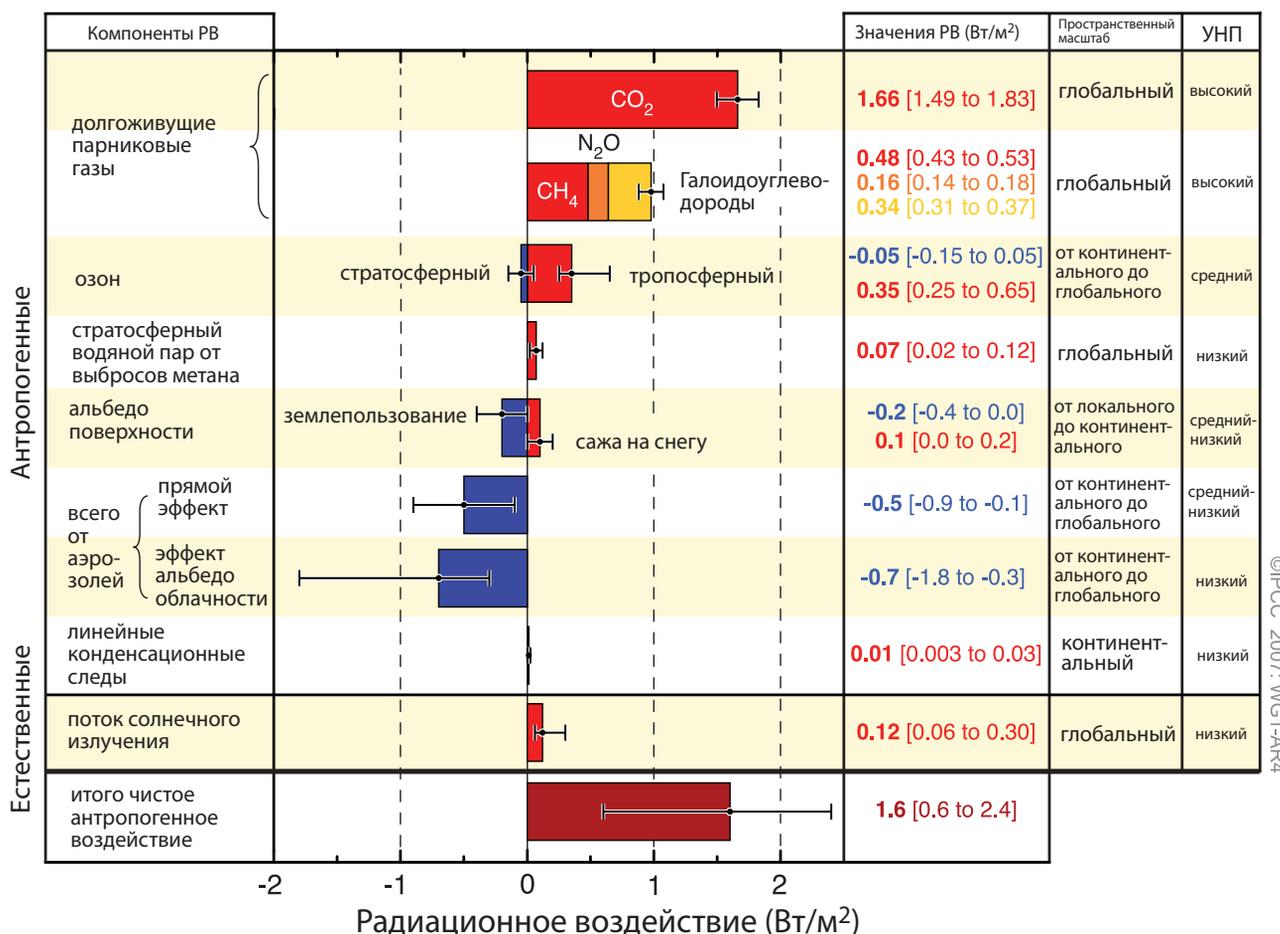


Рис. SPM.2. Оценки и диапазоны глобального среднего радиационного воздействия (РВ) за 2005 год для антропогенного углекислого газа (CO₂), метана (CH₄), закиси азота (N₂O) и других важных веществ и механизмов, а также типичная географическая протяженность (пространственный масштаб) воздействия и оцениваемый уровень научного понимания (ОУНП). Показано также чистое антропогенное радиационное воздействие и его диапазон. Они требуют суммирования асимметричных оценок неопределенности составляющих, а простым сложением их получить нельзя. Другие факторы воздействия, здесь не показанные, имеют, как считается, очень низкий ОУНП. Вулканические аэрозоли создают дополнительное естественное воздействие, но на этом рисунке они не показаны из-за их эпизодического характера. Диапазон линейных конденсационных следов не включает другие возможные воздействия авиации на облачность. {2.9, рис. 2.20}

тропосферного озона вследствие выбросов озонобразующих химикатов (оксидов азота, угарного газа, углеводородов) дает $+0,35$ [$+0,25$ - $+0,65$] Вт/м². Прямое радиационное воздействие вследствие изменения выбросов галоидоуглеводородов⁸ составляет $+0,34$ [$+0,31$ - $+0,37$] Вт/м². Изменения в альбедо поверхности вследствие изменений в землепользовании и осадения сажи оказывают воздействие, соответственно в размере $-0,2$ [$-0,4$ - $0,0$] и $+0,1$ [$0,0$ - $+0,2$] Вт/м². Другие факторы, воздействие которых меньше $\pm 0,1$ Вт/м², показаны на рис. SPM.2. {2.3, 2.5, 7.2}

- Изменения в потоке солнечного излучения на единицу площади с 1750 года, по оценкам, вызывают радиационное воздействие $+0,12$ [$+0,06$ - $+0,30$] Вт/м², что составляет менее половины оценки, данной в ТДО. {2.7}

Непосредственные наблюдения за последним изменением климата

Со времени публикации ТДО в понимании того, как климат меняется в пространстве и времени, достигнут прогресс благодаря улучшению и расширению многочисленных комплектов данных и анализа данных, расширению географического охвата, улучшению понимания неопределенностей, расширению многообразия измерений. С 1960-х годов проводятся все более всесторонние наблюдения за ледниками и снежным покровом, а в последнее десятилетие – за уровнем моря и ледовыми щитами. Тем не менее, охват данными в некоторых регионах остается ограниченным.

Потепление климатической системы – неоспоримый факт, что очевидно из наблюдений за повышением глобальной средней температуры воздуха и океанов, широко распространенным таянием снега и льда, повышением глобального среднего уровня моря (см. рис. SPM.3). {3.2, 4.2, 5.5}

- Одиннадцать из двенадцати последних лет (1995–2006 годы) попали в число 12 самых теплых лет по результатам измерений глобальной приземной температуры⁹ (с 1850 года). Поэтому обновленный столетний линейный тренд (1906-

2005 годы), $0,74^{\circ}\text{C}$ [$0,56^{\circ}\text{C}$ – $0,92^{\circ}\text{C}$], больше соответствующего тренда за 1901-2000 годы, приведенного в ТДО ($0,6^{\circ}\text{C}$ [$0,4^{\circ}\text{C}$ – $0,8^{\circ}\text{C}$]). Линейный тренд потепления за последние 50 лет ($0,13^{\circ}\text{C}$ [$0,10^{\circ}\text{C}$ – $0,16^{\circ}\text{C}$] за десятилетие) почти вдвое выше тренда за последние 100 лет. Общее повышение температуры в 2001-2005 годы по сравнению с 1850-1899 годами равно $0,76^{\circ}\text{C}$ [$0,57^{\circ}\text{C}$ – $0,95^{\circ}\text{C}$]. Эффект городского острова тепла реален, но носит локальный характер и оказывает ничтожно малое воздействие (менее $0,006^{\circ}\text{C}$ за десятилетие над сушей, 0 над океанами) на эти значения. {3.2}

- Новый анализ аэростатных и спутниковых измерений температуры в нижних и средних слоях тропосферы показывает скорость потепления, схожую с той, которая зарегистрирована на поверхности Земли, и согласующуюся с соответствующей неопределенностью последней, что в значительной степени устраняет противоречие, отмеченное в ТДО. {3.2, 3.4}
- Среднее содержание водяного пара в атмосфере повышается минимум с 1980-х годов над сушей и океаном, а также в верхних слоях тропосферы. Это повышение в общем соответствует тому дополнительному количеству водяного пара, которое может удержать более теплый воздух. {3.4}
- Наблюдения, проводимые с 1961 года, показывают, что средняя температура мирового океана повысилась до глубины минимум 3000 м и что океан поглощает более 80% тепла, дополнительно вводимого в климатическую систему. Такое потепление вызывает расширение морской воды, способствуя повышению уровня моря (см. табл. SPM.1). {5.2, 5.5}
- Горные ледники и снежный покров уменьшились в среднем в обоих полушариях. Широко распространенное уменьшение ледников и ледяных шапок способствовало повышению уровня моря (ледяные шапки не включают вклады Гренландского и Антарктического ледовых щитов). (См. табл. SPM.1.) {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}
- Новые данные, полученные после публикации ТДО, показывают, что убыль ледовых щитов Гренландии и Антарктиды *весьма вероятно*

⁸ Радиационное воздействие галоидоуглеводородов недавно было подробно оценено в Специальном докладе МГЭИК «Охрана озонового слоя и глобальной климатической системы» (2005).

⁹ Среднее значение приземной температуры воздуха над сушей и температуры поверхности моря.

Изменения температуры, уровня моря и площади снежного покрова в

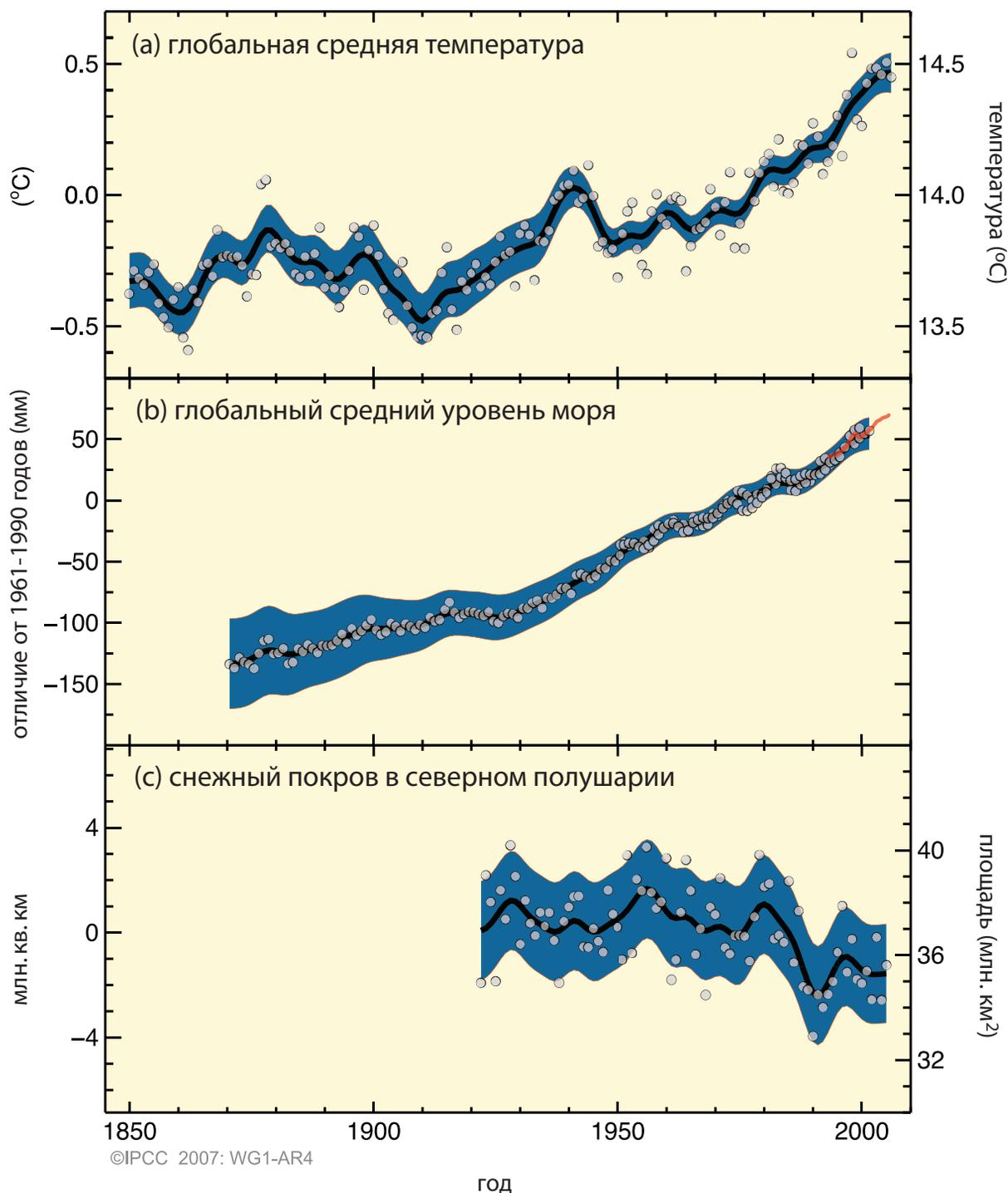


Рис. SPM.3. Наблюдаемые изменения (a) в глобальной средней приземной температуре; (b) глобальном среднем уровне моря по данным мареографов (синий) и спутников (красный); (c) площади снежного покрова в северном полушарии в марте-апреле. Все изменения даны относительно соответствующих средних значений за 1961-1990 годы. Сглаженные кривые представляют десятилетние средние значения, а окружности – годовые значения. Затененные участки – это интервалы неопределенности, оцененные путем комплексного анализа известных неопределенностей (a и b) и по временному ряду (c). {ЧЗВ 3.1, рис. 1, рис. 4.2, рис. 5.13}

способствовала повышению уровня моря в 1993-2003 годах (см. табл. SPM.1). Увеличилась скорость течения на некоторых выводных ледниках Гренландии и Антарктиды, которые отводят лед из середины этих ледовых щитов. Соответствующая растущая убыль массы ледовых щитов часто сопровождается утончением, уменьшением или убылью шельфовых ледников или убылью плавучих языков ледников. Такая динамическая убыль льда достаточна для объяснения большинства чистой убыли массы льда в Антарктиде и приблизительно половины чистой убыли в Гренландии. Остальная убыль льда в Гренландии обусловлена тем, что потери из-за таяния превысили накопление вследствие снегопадов. {4.6, 4.8, 5.5}

- Глобальный средний уровень моря за 1961-2003 годы повышался со средней скоростью 1,8 [1,3-2,3] мм в год. Эта скорость меньше, чем в 1993-2003 годы, около 3,1 [2,4-3,8] мм в год. Не ясно, отражает ли более высокая скорость за 1999-2003 годы десятилетнюю изменчивость или увеличение долгосрочного тренда. Существует высокая степень достоверности того, что скорость наблюдаемого повышения уровня моря в XX веке повысилась по сравнению с XIX веком. Общее повышение за XX век составляет, по оценке, 0,17 [0,12-0,22] м. {5.5}
- За 1993-2003 годы сумма воздействий на климат соответствует, в пределах неопределенностей,

непосредственно наблюдаемому общему повышению уровня моря (см. табл. SPM.1). Эти оценки основаны на более качественных данных измерений со спутников и в точке. За период 1961-2003 годы сумма воздействий на климат, по оценкам, меньше наблюдаемого повышения уровня моря. В ТДО отмечено аналогичное противоречие за 1910-1990 годы {5.5}

В масштабах континентов, регионов и бассейнов океанов наблюдаются многочисленные долговременные изменения климата. Они включают изменения арктических температур льда, широко распространенные изменения количества осадков, солёности океана, ветровых режимов, характеристик экстремальных метеорологических явлений – засухи, сильных осадков, волн тепла, интенсивности тропических циклонов.¹⁰ {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}

- Средние арктические температуры за последние 100 лет повысились почти вдвое больше, чем средняя глобальная температура. Арктические температуры отличаются высокой десятилетней изменчивостью, а с 1925 по 1945 год наблюдался и тёплый период. {3.2}
- Спутниковые данные с 1978 года показывают, что среднегодовая площадь арктического морского

Табл. SPM.1. Наблюдаемые темпы повышения уровня моря и оценки вкладов различных источников. {5.5, табл. 5.3}

Источник повышения уровня моря	Темпы повышения уровня моря (мм в год)	
	1961–2003 годы	1993–2003 годы
Тепловое расширение	0.42 ± 0.12	1.6 ± 0.5
Ледники и ледяные шапки	0.50 ± 0.18	0.77 ± 0.22
Гренландский ледовый щит	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
Антарктический ледовый щит	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
Общее влияние отдельных климатических воздействий на повышение уровня моря	1.1 ± 0.5	2.8 ± 0.7
Наблюдаемое общее повышение уровня моря	1.8 ± 0.5 ^a	3.1 ± 0.7 ^a
Разница (Наблюдаемое минус общее влияние климатических воздействий)	0.7 ± 0.7	0.3 ± 1.0

Примечание к таблице:

а Данные до 1993 года получены мареографами, а после 1993 года – с помощью спутниковой альтиметрии.

¹⁰ К тропическим циклонам относятся ураганы и тайфуны.

льда уменьшалась в среднем на 2,7 [2,1-3,3]% за десятилетие, причем летом процесс шел быстрее - на 7,4 [5,0-9,8]% за десятилетие. Эти значения согласуются с приведенными в ТДО. {4.4}

- Температуры в верхней части слоя вечной мерзлоты в Арктике с 1980-х годов в общем повысились (повышение составило до 3°C). Максимальная площадь, покрытая сезонномерзлым грунтом, в северном полушарии с 1900 года уменьшилась приблизительно на 7%, причем весной этот показатель составлял до 15%. {4.7}

- Долгосрочные тренды с 1900 по 2005 год наблюдались в количестве осадков во многих обширных регионах. Значительный рост количества осадков отмечался в восточных частях Северной и Южной Америки, северной части Европы, северной и центральной частях Азии. Засушливость наблюдалась в Сахеле, Средиземноморье, южной части Африки и частях южной Азии. Количество осадков сильно различается в пространстве и времени, а по некоторым регионам данные ограничены. В остальных больших оцениваемых регионах долгосрочных трендов не выявлено.¹¹ {3.3, 3.9}

Табл. SPM.2. Последние тренды, оценка человеческого влияния на тренд и проекции экстремальных метеорологических явлений, для которых есть наблюдаемый тренд на конец XX столетия. {Табл. 3.7, 3.8, 9.4; разделы 3.8, 5.5, 9.7, 11.2–11.9}

Явления и направление тренда	Вероятность наличия тренда в конце XX-го века (обычно после 1960 года)	Вероятность human contribution влияния на наблюдаемый тренд ^b	Вероятность будущих трендов на основе проекций на XXI-й век с использованием сценариев СДСВ
Теплее, меньше холодных Теплее, меньше холодных большинстве участков суши	Весьма вероятно	Вероятно ^d	Практически определено ^d
Теплее, более частые жаркие дни и ночи на большинстве участков суши	Весьма вероятно	Вероятно (ночи) ^d	Практически определено ^d
Теплые периоды/волны тепла. Частота растет на большинстве участков суши	Вероятно	Скорее вероятно, чем нет ^f	Весьма вероятно
Сильные осадки. Частота (или доля общих осадков от сильных дождей) в большинстве районов растет	Вероятно	Скорее вероятно, чем нет ^f	Весьма вероятно
Площадь, пораженная засухой, увеличивается	Вероятно во многих регионах с 1970-х гг.	Скорее вероятно, чем нет ^f	Вероятно
Интенсивная тропическая циклоническая активность растет	Вероятно во многих регионах с 1970-х гг.	Скорее вероятно, чем нет ^f	Вероятно
Повышенное количество случаев экстремально высокого уровня моря (без цунами) ^g	Вероятно	Скорее вероятно, чем нет ^{f,h}	Вероятно ⁱ

Примечания к таблице:

^a Дополнительную информацию в отношении определений см. в табл. 3.7.

^b См. табл. TS.4, вставку TS.5 и табл. 9.4.

^c Пониженная частота холодных дней и ночей (самые холодные 10%).

^d самых экстремальных дней и ночей каждый год.

^e Повышенная частота жарких дней и ночей (самые жаркие 10%).

^f Порядок величины антропогенных вкладов не оценен. Объяснение этих явлений основано на экспертных оценках, а не на формальных исследованиях.

^g Экстремально высокий уровень моря зависит от среднего уровня моря и от региональных метеорологических систем. Здесь он определен как самый высокий 1% из часовых значений наблюдаемого уровня моря на станции за данный базовый период.

^h Изменения наблюдаемого экстремально высокого уровня моря тесно связаны с изменениями среднего уровня моря. {5.5} Весьма вероятно, что антропогенная деятельность способствовала повышению среднего уровня моря. {9.5}

ⁱ Во всех сценариях проекции глобального среднего уровня моря на 2100 год выше, чем в базовом периоде. {10.6} Эффект изменений в региональных метеорологических системах на экстремальные значения уровня моря не оценивался.

¹¹ Оцениваемые регионы – это регионы, рассмотренные в главе о региональных проекциях ТДО и в главе 11 настоящего доклада.

- Изменения в количестве осадков и испарении над океанами видны из опреснения средне- и высокоширотных вод, а также из повышения солености в водах низких широт. {5.2}
- Среднеширотные западные ветры усилились в обоих полушариях с 1960-х годов. {3.5}
- С 1970-х годов в более обширных районах наблюдаются более сильные и продолжительные засухи, особенно в тропиках и субтропиках. Изменениям в характере засухи способствовало повышенное высушивание, связанное с повышением температуры и уменьшением осадков. Засуха также связана с изменениями в приземных температурах, ветровых режимах, уменьшением снегопадов и снежного покрова. {3.3}
- Частота выпадения сильных осадков повысилась над большинством участков суши, что соответствует потеплению и наблюдаемому увеличению содержания водяного пара в атмосфере. {3.8, 3.9}
- За последние 50 лет наблюдались широкомасштабные изменения в экстремальных температурах. Холодные дни, холодные ночи и мороз стали менее частыми, тогда как жаркие дни, жаркие ночи и волны тепла участились (см. табл. SPM.2). {3.8}
- Имеются данные наблюдений о росте интенсивной тропической циклонической активности в Северной Атлантике где-то с 1970 года, коррелирующей с повышением температур над поверхностью тропических морей. Есть также предположения о повышенной интенсивной тропической циклонической активности в ряде других регионов, хотя сомнений в отношении качества этих данных больше. Многодекадная изменчивость и качество данных о тропических циклонах, полученных до начала спутниковых наблюдений в 1970 году, усложняют выявление долгосрочных трендов в тропической циклонической активности. Явного тренда в ежегодных количествах тропических циклонов нет. {3.8}

Некоторые характеристики климата, согласно наблюдениям, не меняются. {3.2, 3.8, 4.4, 5.3}

- В ТДО отмечалось уменьшение диапазона суточных температур (ДСТ), но доступные

тогда данные охватывали только 1950-1993 годы. Новые наблюдения показывают, что ДСТ за период 1979-2004 годы не изменился, так как и дневная, и ночная температуры повысились приблизительно одинаково. Эти тренды отличаются высокой изменчивостью от региона к региону. {3.2}

- Площадь антарктического морского льда продолжает демонстрировать междугодичную изменчивость и локальные изменения, однако статистически значимых средних трендов, согласующихся с отсутствием потепления, отраженным в атмосферных температурах, усредненных по региону, нет. {3.2, 4.4}
- Нет достаточных свидетельств, которые позволили бы определить, существуют ли тренды в меридиональной опрокидывающей циркуляции (МОЦ) мирового океана или в мелкомасштабных явлениях, таких как торнадо, град, молнии и пыльные бури. {3.8, 5.3}

Анализ палеоклиматических данных

В палеоклиматических исследованиях используются изменения климатически чувствительных показателей для получения выводов о прошлых изменениях в глобальном климате во временных масштабах от десятилетий до миллионов лет. На такие косвенные показатели (например, ширина годичных колец деревьев) может влиять как локальная температура, так и другие факторы, такие как осадки, и они часто отражают конкретные времена года, нежели полные годы. Исследования, проводимые после ТДО, черпают уверенность из дополнительных данных, демонстрирующих согласованное поведение многочисленных показателей в разных частях света. Вместе с тем, неопределенность обычно растет по мере углубления по времени в прошлое, так как пространственный охват все больше сокращается.

Палеоклиматическая информация подтверждает вывод о том, что потепление последнего полстолетия необычно минимум за прошедшие 1300 лет. Последний раз, когда в полярных районах было значительно теплее, чем сейчас, в течение длительного периода (около 125 тыс. лет назад), уменьшение объема полярного льда привело к повышению уровня моря на 4-6 м. {6.4, 6.6}

- Средние температуры в северном полушарии во второй половине XX века были, весьма вероятно, выше, чем в любой другой 50-летний период за последние 500 лет и, вероятно, самыми высокими по крайней мере за прошедшие 1300 лет. В некоторых последних исследованиях отмечается большая изменчивость температур в северном полушарии, чем указывалось в ТДО, в частности, более холодные периоды имели место в XII-XIV, XVII и XIX столетиях. Более теплые периоды до XX века попадают в область неопределенности, указанную в ТДО. {6.6}
- Глобальный средний уровень моря в последнем межледниковом периоде (около 125 тыс. лет назад) был, вероятно, на 4-6 м выше, чем в XX веке, главным образом из-за убыли полярного льда. Данные кернов льда показывают, что средние полярные температуры в то время были на 3°C - 5°C выше, чем сейчас, вследствие различий в орбите Земли. Гренландский ледовый щит и другие арктические ледяные поля, вероятно, были причиной не более чем четырехметрового повышения уровня моря. Свой вклад, возможно, внесла и Антарктика. {6.4}

Понимание и объяснение причин изменения климата

В данной оценке учитываются более полные и качественные результаты, а также используется расширенный диапазон наблюдений и усовершенствований в моделировании многих аспектов климата и его изменчивости на основании исследований, проведенных после ТДО. Рассматриваются также результаты новых исследований, направленных на то, чтобы установить, согласуются ли количественно наблюдаемые изменения с ожидаемой реакцией на внешние воздействия и не противоречат ли они альтернативным физически правдоподобным объяснениям.

Вполне вероятно, что наблюдаемое с середины XX столетия повышение глобальных средних температур большей частью вызвано наблюдаемым повышением концентраций антропогенных парниковых газов.¹² Это – шаг вперед от сделанного в ТДО вывода о том, что «потепление, наблюдаемое в последние 50 лет, вероятно, большей частью вызвано повышением

концентраций парниковых газов». Заметное влияние человека сейчас распространяется на другие аспекты климата, включая потепление океанов, среднюю температуру на континентах, экстремальные температуры, ветровые режимы (см. рис. SPM.4 и табл. SPM.2). {9.4, 9.5}

- *Вероятно*, повышение концентраций парниковых газов само по себе вызвало бы большее потепление, чем наблюдается сейчас, потому что вулканические и антропогенные аэрозоли компенсировали определенную часть потепления, которая в противном случае имела бы место. {2.9, 7.5, 9.4}
- Наблюдаемое широкомасштабное потепление атмосферы и океана, вкупе с убылью ледовой массы, подтверждает вывод о том, что *чрезвычайно маловероятно*, что глобальное изменение климата в последние 50 лет можно объяснить без внешних воздействий, и *весьма вероятно*, что оно не вызвано только лишь известными естественными причинами. {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}
- Потепление климатической системы обнаруживается в изменениях приземной атмосферной температуры и на высотах, а также верхних нескольких сотен метров океана и во влиянии на повышение уровня моря. В исследованиях, посвященных объяснению причин изменений климата, установлены антропогенные вклады во все эти изменения. Наблюдаемый характер тропосферного потепления и стратосферного охлаждения вызван, весьма вероятно, совокупным влиянием повышения концентрации парниковых газов и истощения стратосферного озона. {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}
- *Вероятно*, в последние 50 лет в среднем на каждом континенте, кроме Антарктиды, имеет место значительное потепление (см. рис. SPM.4). Наблюдаемый характер потепления, включая большее потепление над сушей, чем над океаном, и его изменение во времени, имитируется только моделями, которые учитывают антропогенное воздействие. Способность сопряженных моделей климата моделировать наблюдаемую эволюцию

¹² Учет остальной неопределенности основан на действующих методологиях.

Изменение глобальных и континентальных температур

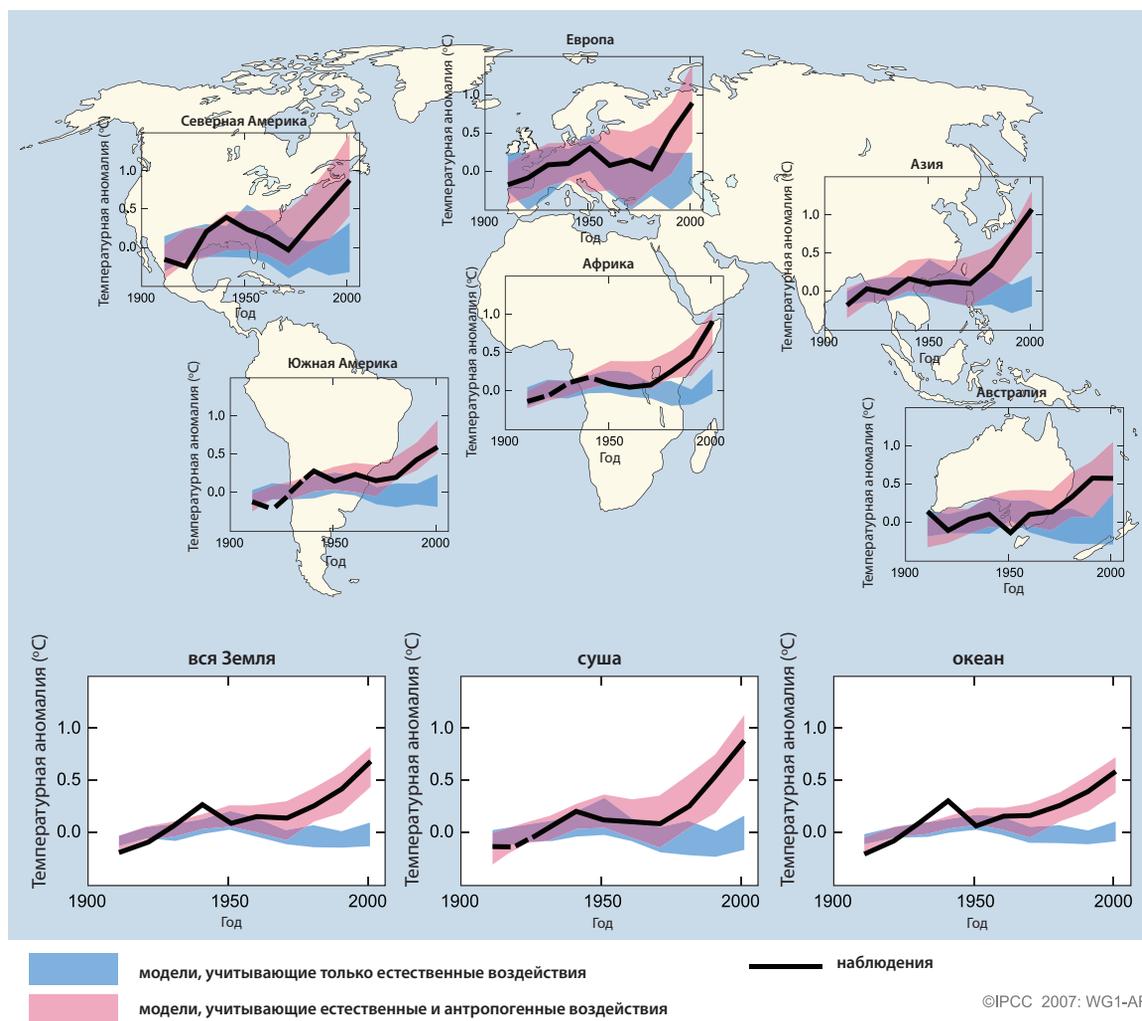


Рис SPM.4. Сравнение наблюдаемых изменений приземной температуры континентального и глобального масштаба с результатами, полученными с помощью моделей климата, учитывающих естественные и антропогенные воздействия. Десятилетние средние значения наблюдений показаны за период 1906-2005 годы (черная линия); они построены относительно середины десятилетия и относительно соответствующей средней величины за 1901-1950 годы. Прерывистые линии даны там, где пространственный охват менее 50%. Голубые полосы отражают диапазон 5-95% для 19 построений по пяти моделям климата, которые учитывают только естественные воздействия вследствие солнечной и вулканической активности. Красные полосы отражают диапазон 5-95% для 58 построений по 14 моделям климата, которые учитывают и естественные, и антропогенные воздействия. {ЧЗВ 9.2, рис. 1}

температуры на каждом из шести континентов дает более серьезное свидетельство влияния человека на климат, нежели приведенные в ТДО. {3.2, 9.4}

- Остаются сложности в достоверном моделировании и объяснении наблюдаемых изменений температуры в меньших масштабах. В этих масштабах естественная изменчивость климата относительно больше, из-за чего сложнее различать ожидаемые изменения вследствие
- внешних воздействий. Неопределенности в местных воздействиях и обратных связях также усложняют оценку вклада повышения концентрации парниковых газов в наблюдаемые мелкомасштабные изменения температуры. {8.3, 9.4}
- Антропогенное воздействие, вероятно, способствовало изменениям ветровых режимов¹³, влияя на траектории внетропических циклонов и режимы температуры в обоих полушариях.

¹³ В частности, Южного и Северного кольцевых режимов и соответствующих изменений в Северо-Атлантическом колебании {3.6, 9.5, вставка TS.2}

При этом, однако, наблюдаемые изменения в циркуляции в северном полушарии существеннее, чем смоделированные в ответ на изменение воздействия в XX-м веке. {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}

- Температура самых экстремально жарких ночей, холодных ночей и холодных дней, *вероятно*, повысилась вследствие антропогенного воздействия. *Более вероятно, чем нет*, что антропогенное воздействие повысило риск волн тепла (см. табл. SPM.2). {9.4}

Анализ моделей климата с учетом ограничений, полученных из наблюдений, позволяет впервые дать оценочный вероятный диапазон чувствительности климата и повышает уверенность в понимании реакции климатической системы на радиационное воздействие. {6.6, 8.6, 9.6, вставка 10.2}

- Равновесная чувствительность климата – это мера реакции климатической системы на устойчивое радиационное воздействие. Она не является проекцией, а определяется как глобальное среднее приземное потепление вследствие удвоения концентрации углекислого газа. *Вероятно*, что этот показатель находится в диапазоне 2-4,5°C с наилучшей оценкой около 3°C и *весьма маловероятно*, что он ниже 1,5°C. Значения, существенно превышающие 4,5°C, исключать нельзя, однако для них соответствие моделей наблюдениям не столь хорошее. Изменения содержания водяного пара – самая сильная обратная связь, влияющая на чувствительность климата; их понимание сейчас глубже, чем было в ТДО. Обратные связи облаков остаются наибольшим источником неопределенности. {8.6, 9.6, вставка 10.2}
- *Весьма маловероятно*, что изменения климата по крайней мере за семь столетий до 1950 года были обусловлены лишь изменчивостью, характерной для климатической системы. Значительная часть реконструированной внутривековой температурной изменчивости в северном полушарии за эти столетия, *весьма вероятно*, объясняется извержениями вулканов и изменениями потока солнечного излучения на

единицу площади, и *вероятно*, что антропогенное воздействие способствовало очевидному из этих результатов потеплению, имевшему место в начале XX-го века. {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

Проекция будущих изменений климата

Серьезным достижением данной оценки проекций изменений климата по сравнению с ТДО является большое количество результатов, полученных из более широкого круга моделей. Вкупе с дополнительной информацией, полученной из наблюдений, эти результаты дают количественную основу для оценки вероятности многих аспектов будущего изменения климата. Модели охватывают целый ряд возможных будущих факторов, в том числе идеализированные допущения о выбросах или концентрациях. Они включают иллюстративные сигнальные сценарии СДСВ¹⁴ на период 2000-2100 годы и модельные эксперименты с парниковыми газами и концентрациями аэрозолей на постоянном уровне после 2000 или 2100 года.

На следующие два десятилетия для целого ряда сценариев выбросов согласно СДСВ прогнозируется потепление приблизительно на 0,2°C за десятилетие. Даже если бы концентрации всех парниковых газов и аэрозолей удерживались на уровне 2000 года, ожидалось бы дальнейшее потепление приблизительно на 0,1°C за десятилетие. {10.3, 10.7}

- После публикации первого доклада МГЭИК (1990 год) оцениваемые проекции показали на 1990-2005 годы повышение глобальной средней температуры приблизительно между 0,15°C и 0,3°C за десятилетие. Сейчас это можно сравнить с наблюдаемыми значениями, составляющими около 0,2°C за десятилетие, что усиливает уверенность в краткосрочных проекциях. {1.2, 3.2}
- Модельные эксперименты показывают, что даже если бы все факторы радиационного воздействия оставались постоянными, на уровне 2000 года, то в следующие два десятилетия все равно

¹⁴ СДСВ (SRES) означает «Специальный доклад МГЭИК о сценариях выбросов» (IPCC Special Report on Emission Scenarios (2000)). Сценарные семьи и иллюстративные сценарии СДСВ, которые не включают дополнительные климатические инициативы, кратко описаны во вставке в конце данного «Резюме для политиков». Приблизительные эквивалентные концентрации углекислого газа, соответствующие расчетному радиационному воздействию антропогенных парниковых газов и аэрозолей в 2100 году (см. стр. 823 ТДО) для иллюстративных сигнальных сценариев B1, A1 T, B2, A1 B, A2 и A1, составляют около 600, 700, 800, 850, 1250 и 1550 ppm соответственно. Сценарии B1, A1 B и A2 находятся в центре внимания исследований по взаимному сравнению моделей, и многие из этих результатов оцениваются в настоящем докладе.

имело бы место потепление со скоростью около $0,1^{\circ}\text{C}$ за десятилетие, главным образом из-за медленной реакции океанов. Если выбросы будут находиться в диапазоне, указанном в сценариях СДСВ, то скорость потепления вырастет вдвое ($0,2^{\circ}\text{C}$ за десятилетие). Проекция наилучших оценок на основании моделей показывают, что среднее потепление за десять лет над каждым населенным континентом к 2030 году будет нечувствительным к выбору сценария СДСВ и, *весьма вероятно*, будет как минимум вдвое больше соответствующей смоделированной естественной изменчивости за XX век. {9.4, 10.3, 10.5, 11.2–11.7, рис. TS-29}

Продолжение выбросов парниковых газов существующими или более высокими темпами вызвало бы дальнейшее потепление и привело бы в XXI веке ко многим изменениям в глобальной климатической системе, которые, весьма вероятно, были бы значительнее тех, что наблюдались в XX веке. {10.3}

- Успехи в моделировании изменений климата сейчас позволяют получить наилучшие оценки и, *вероятно*, оцениваемые диапазоны неопределенности для прогнозируемого потепления при разных сценариях выбросов. Результаты для разных сценариев выбросов в данном докладе даются в прямой форме, чтобы

избежать потери этой важной в политическом отношении информации. Проекция глобального среднего приземного потепления на конец XXI века (2090-2099 годы) по сравнению с 1980-1999 годами показана в табл. SPM.3. Эти данные иллюстрируют различия между сценариями низких и высоких уровней выбросов по СДСВ, а также проекцию неопределенности потепления, связанную с этими сценариями. {10.5}

- Наилучшие оценки и *вероятные* диапазоны глобального среднего потепления приземного воздуха для шести сценариев выбросов по СДСВ приведены в данном докладе и показаны в табл. SPM.3. Например, наилучшая оценка для «низкого» сценария (B1) – $1,8^{\circ}\text{C}$ (*вероятный* диапазон – от $1,1^{\circ}\text{C}$ до $2,9^{\circ}\text{C}$), а для «высокого» сценария (A1FI) – $4,0^{\circ}\text{C}$ (*вероятный* диапазон – от $2,4^{\circ}\text{C}$ до $6,4^{\circ}\text{C}$). Хотя эти проекции в общем согласуются с диапазоном, указанным в ТДО ($1,4\text{--}5,8^{\circ}\text{C}$), их невозможно прямо сравнивать (см. рис. SPM.5). Четвертый доклад об оценках – более продвинутый, так как в нем даны наилучшие оценки и оцениваемый диапазон вероятности для каждого из сигнальных сценариев. Новая оценка вероятных диапазонов сейчас основывается на большем количестве моделей климата, отличающихся все большей сложностью и реализмом, а также на новой информации о характере обратных связей от углеродного цикла и ограничений на реакцию климата, полученной путем наблюдений. {10.5}

Табл. SPM.3. Проекция глобального среднего приземного потепления и повышения уровня моря на конец XXI века. {10.5, 10.6, табл. 10.7}

Вариант	Изменение температуры ($^{\circ}\text{C}$ за 2090-2099 г. по сравнению с 1980-1999 г.) ^a		Повышение уровня моря (м за 2090-2099 г. относительно 1980-1999 г.)
	Наилучшая оценка	Вероятный диапазон	Основанный на модели диапазон без будущих быстрых динамических изменений в потоке льда
Постоянные концентрации на уровне 2000 года ^b	0.6	0.3 – 0.9	НП
Сценарий B1	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
Сценарий A1 T	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
Сценарий B2	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
Сценарий A1 B	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
Сценарий A2	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
Сценарий A1 FI	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

Примечания к таблице:

^a Данные цифры представляют собой оценки, выведенные из иерархии моделей, среди которых – простая модель климата, несколько моделей системы Земли промежуточной сложности и большое количество моделей общей циркуляции сопряженной системы «атмосфера-океан» (МОЦАО).

^b Постоянный состав на 2000 год получен только из МОЦАО. НП означает «не применимо».

Многомодельные средние значения и оцениваемые диапазоны приземного потепления

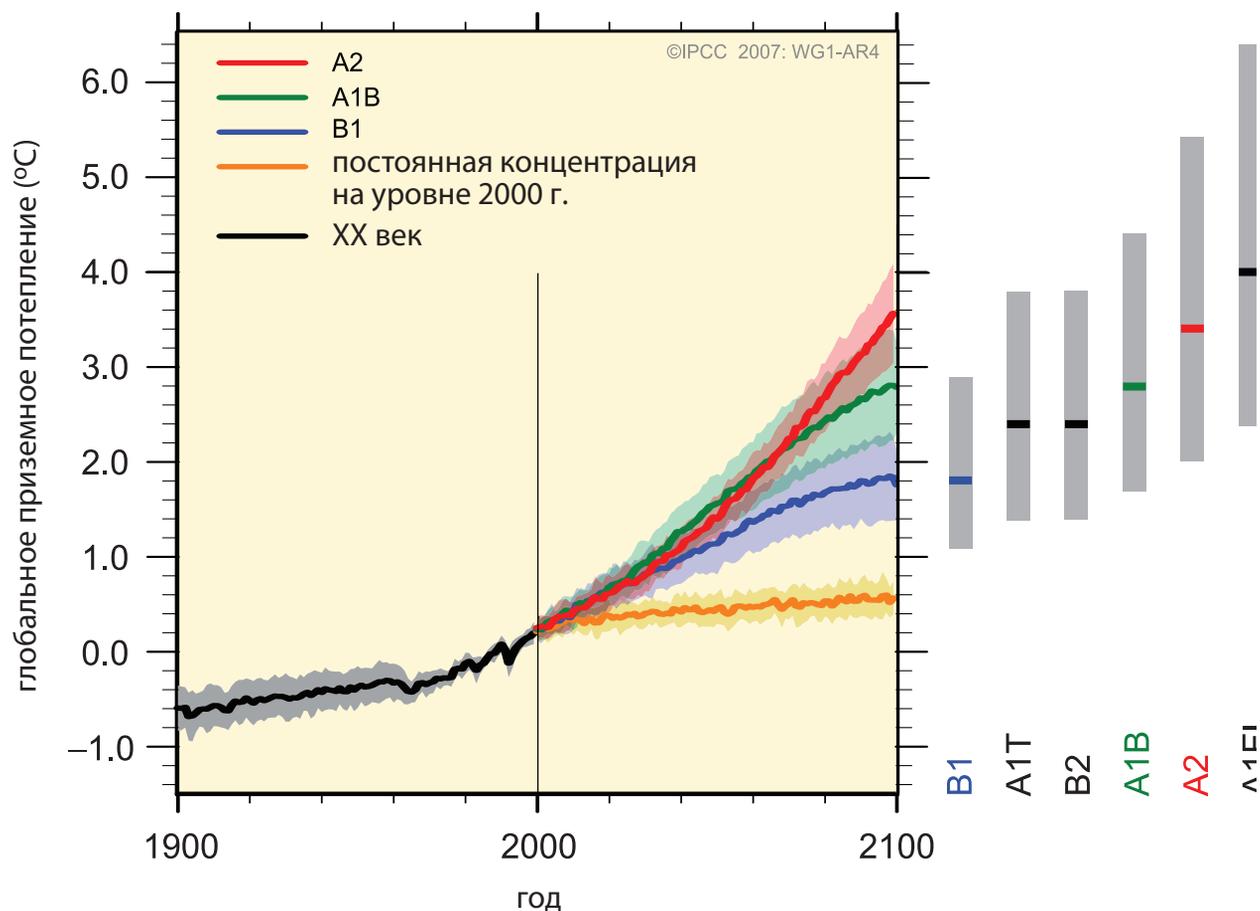


Рис. SPM.5. Сплошные линии – это многомодельные глобальные средние значения приземного потепления (относительно 1980-1999 годов) для сценариев A2, A1B и B1, показанных как продолжение моделирования XX века. Затенение обозначает диапазон среднеквадратичного отклонения ± 1 для годовых средних значений по отдельным моделям. Оранжевая линия соответствует эксперименту, при котором концентрации удерживались постоянными, на уровне 2000 года. Серые столбики справа обозначают наилучшую оценку (сплошная линия в каждом столбике) и вероятный диапазон, оцениваемый для шести сигнальных сценариев СДСВ. Наилучшая оценка и вероятные диапазоны на серых столбиках учитывают МОЦАО в левой части рисунка, а также результаты иерархии независимых моделей и ограничения наблюдений. {рис. 10.4 и 10.29}

- Потепление обычно уменьшает поглощение суши и океаном углекислого газа из атмосферы, увеличивая долю антропогенных выбросов, остающуюся в атмосфере. Для сценария A2, к примеру, обратная связь «климат – углеродный цикл» повышает соответствующий уровень глобального среднего потепления к 2100 году более чем на 1°C . Оцениваемые верхние диапазоны прогнозов температуры больше, чем в ТДО (см. табл. SPM.3), главным образом потому, что доступный сейчас более широкий диапазон моделей предполагает наличие более сильных обратных связей между климатом и углеродным циклом. {7.3, 10.5}
- Основанные на моделях проекции повышения глобального среднего уровня моря на конец XXI века (2090-2099 годы) показаны в табл. SPM.3. Для каждого сценария средняя точка диапазона в табл. SPM.3 находится в пределах 10% среднего значения по модели ТДО на 2090-2099 годы. Диапазоны уже, чем в ТДО, потому что повысилось качество информации о некоторых неопределенностях в проекциях воздействий.¹⁵ {10.6}
- Модели, использованные до настоящего времени, не учитывают неопределенности в обратной связи между климатом и углеродным циклом и не включают все последствия изменений в

¹⁵ Проекция ТДО делалась на 2100 год, тогда как проекция в данном докладе даны на 2090-2099 годы. В ТДО были бы те же диапазоны, что и в табл. SPM.3, если бы эти неопределенности трактовались там аналогичным образом.

потоках ледовых щитов, потому что основы в опубликованной литературе нет. Проекция включает влияние возросшего потока льда из Гренландии и Антарктиды темпами, которые наблюдались в 1993-2003 годах, но этот расход в будущем может увеличиться или уменьшиться. Например, если бы это влияние росло линейно с глобальным изменением средней температуры, то верхние диапазоны повышения уровня моря по сценариям СДСВ, показанным в табл. SPM.3, повысились бы на 0,1-0,2 м. Более высокие значения исключать нельзя, однако понимание этих эффектов слишком ограничено для того, чтобы оценивать их вероятность или давать наилучшую оценку либо верхний предел повышения уровня моря. {10.6}

- Повышение концентрации углекислого газа в атмосфере ведет к повышению подкисления океана. Прогнозы на основе сценариев СДСВ дают снижение среднего значения pH¹⁶

поверхности мирового океана за XXI век на величину от 0,14 до 0,35, тогда как сейчас снижение по сравнению с доиндустриальным уровнем составляет 0,1. {5.4, Box 7.3, 10.4}

Сейчас есть более высокая степень уверенности в проекциях динамики потепления и других характеристик регионального масштаба, в том числе изменений ветровых режимов, осадков и некоторых аспектов экстремальных явлений и льда. {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}

- Проекция потепления на XXI век, демонстрирует независимые от сценария географические тенденции, аналогичные тем, которые наблюдаются в последние несколько десятилетий. Ожидается, что потепление будет наиболее сильным над сушей, причем больше

Прогнозы приземной температуры

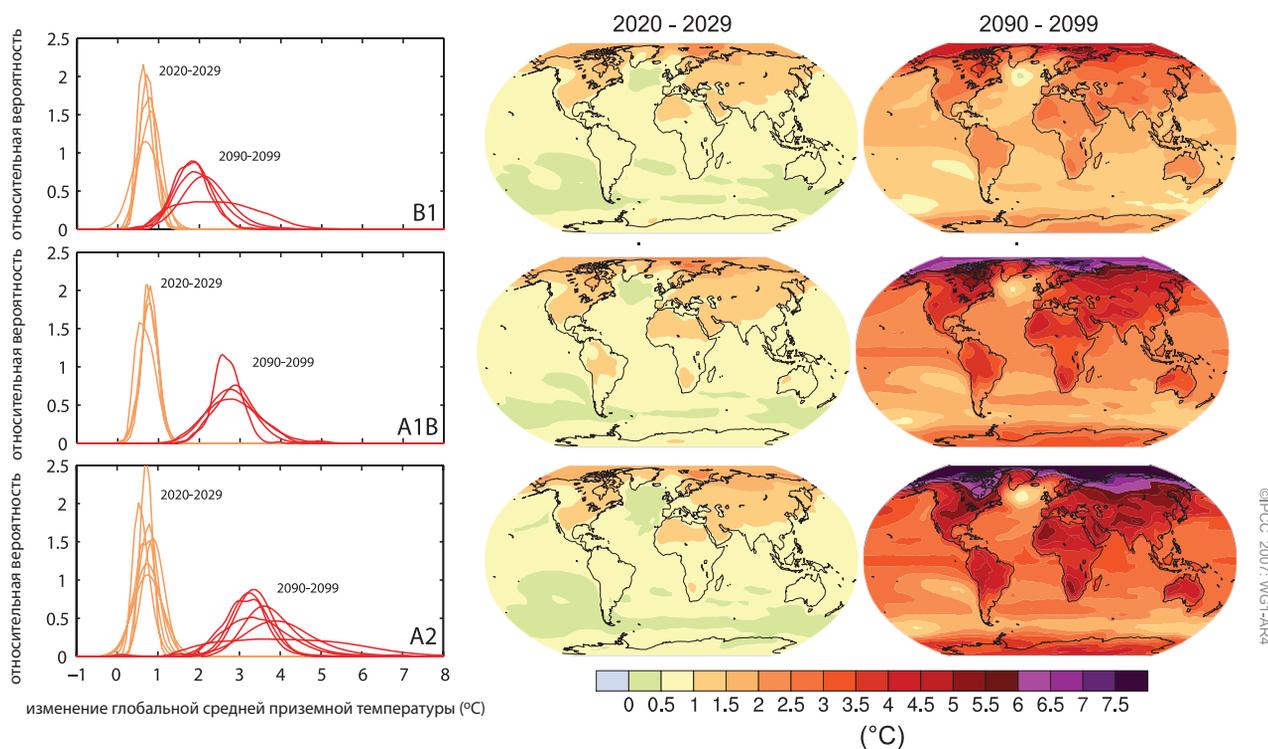


Рис. SPM.6. Проекция изменения приземной температуры на начало и конец XXI века по сравнению с 1980-1999 годами. В центральной и правой частях показаны средние многомодельные проекции на основе МОЦАО для сценариев СДСВ B1 (вверху), A1B (в середине) и A2 (внизу), усредненные по десятилетиям 2020–2029 годы (в центре) и 2090–2099 годы (справа). В левой части показаны соответствующие неопределенности как относительные вероятности оценки глобального среднего потепления из разных МОЦАО и моделей системы Земли промежуточной сложности на эти же периоды. В некоторых исследованиях представлены результаты только для комплекта сценариев СДСВ или для разных вариантов моделей. Поэтому разница в количестве кривых в левой части вызвана только разницей в наличии результатов. {Рис. 10.8 и 10.28}

¹⁶ Снижение pH соответствует повышению кислотности раствора. Подробнее см. в Глоссарии

Проекция изменений режима осадков

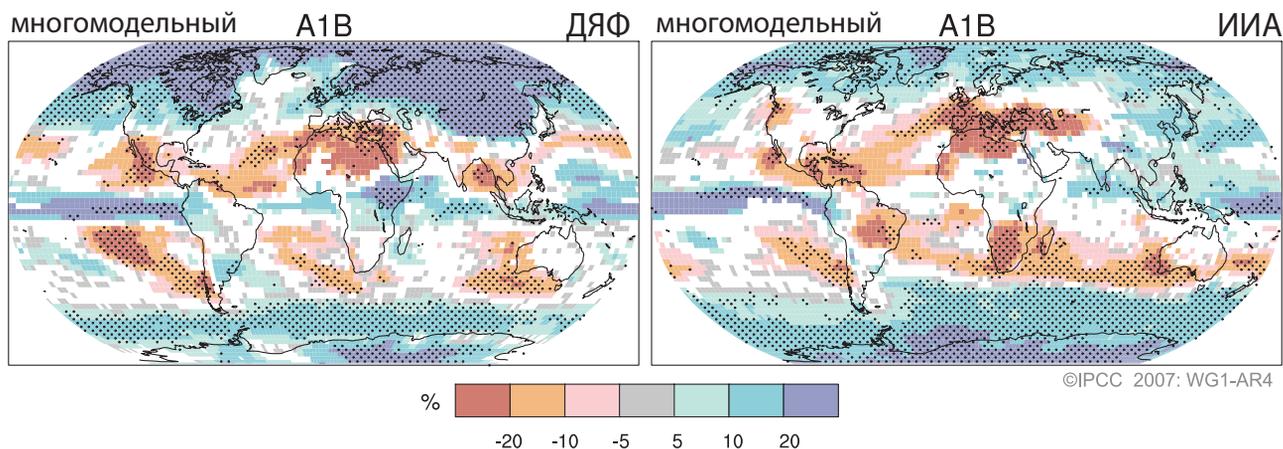


Рис. SPM.7. Относительные изменения количества осадков (в процентах) за период 2090-2099 годы по сравнению с 1980-1999 годами. Значения представляют собой многомодельные средние, основанные на сценарии СДСВ А1В за период декабрь-февраль (слева) и июнь-август (справа). Белые участки – это места, где менее чем 66% моделей дают одинаковый знак изменения, а пунктирные части – места, где более 90% дают одинаковый знак изменения. {Рис. 10.9}

всего на высоких северных широтах, а менее всего – над Южным океаном и северными районами Атлантического океана (см. рис. SPM.6). {10.3}

- Снежный покров, согласно проекциям, уменьшится. Для большинства районов вечной мерзлоты проекции дают масштабное усиление оттепели. {10.3, 10.6}
- Морской лед по прогнозам уменьшится как в Арктике, так и в Антарктиде, причем по всем сценариям СДСВ. По некоторым проекциям к концу XXI века арктический морской лед в конце лета исчезнет почти полностью. {10.3}
- *Весьма вероятно*, что экстремально высокие температуры, волны тепла и сильные осадки будут продолжать учащаться. {10.3}
- На основании целого ряда *моделей вероятно*, что тропические циклоны (тайфуны и ураганы) в будущем станут более сильными, с более высокой максимальной скоростью ветра и более сильными осадками, связанными с продолжающимся повышением температуры поверхности тропических морей. Уверенность в прогнозах глобального уменьшения количества тропических циклонов меньше. Очевидное увеличение доли очень сильных штормов с 1970 года в некоторых регионах гораздо больше, чем дают текущие модели на этот период. {9.5, 10.3, 3.8}

- Траектории внетропических циклонов, согласно проекциям, сильнее направлены к полюсам, с последующими изменениями ветровых режимов, осадков и температуры, что подтверждается основным направлением наблюдаемых тенденций за последние полстолетия. {3.6, 10.3}
- После публикации ТДО появилось лучшее понимание проекций изменений режима осадков. Увеличение количества осадков *весьма вероятно* в высоких широтах, а уменьшение *вероятно* в большинстве субтропических районов суши (разница по сценарию А1В на 2100 год составляет до 20%, см. рис. SPM.7), что подтверждается наблюдаемым характером изменений в последних тенденциях. {3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2 - 11.9}
- На основании существующих моделей *весьма вероятно*, что меридиональная опрокидывающая циркуляция (МОЦ) Атлантического океана в 21-м веке замедлится. Многомодельное среднее уменьшение к 2100 году по сценарию выбросов СДСВ А1В составляет 25% (диапазон от нуля до почти 50%). Температуры в Атлантическом регионе, согласно проекциям, будут расти, несмотря на такие изменения, вследствие гораздо большего потепления, связанного с проекциями повышения концентрации парниковых газов. *Весьма маловероятно*, что МОЦ в 21-м веке испытает значительный резкий переход. Более долгосрочные изменения МОЦ с уверенностью оценить нельзя. {10.3, 10.7}

Антропогенное потепление и повышение уровня моря продолжались бы веками из-за временных масштабов, связанных с климатическими процессами и обратными связями, даже если бы концентрация парниковых газов стабилизировалась. {10.4, 10.5, 10.7}

- Сопряженная система климат – углеродный цикл, как ожидается, обеспечит увеличение поступления углекислого газа в атмосферу по мере потепления климатической системы, однако степень этой обратной связи не ясна. Это повышает неопределенность в динамике выбросов углекислого газа, необходимой для достижения конкретного стабильного уровня его концентрации в атмосфере. Основываясь на текущем понимании обратной связи между климатом и углеродным циклом, модельные исследования говорят о том, что для стабилизации концентрации углекислого газа на уровне 450 ppm могло бы потребоваться снижение совокупных выбросов за 21-й век со среднего уровня около 670 [630-710] ГтС (2460 [2310-2600] ГтCO₂) до приблизительно 490 [375-600] ГтС (1800 [1370-2200] ГтCO₂). Аналогичным образом, для стабилизации на уровне 1000 ppm эта обратная связь могла бы потребовать снижения совокупных выбросов со среднего смоделированного уровня около 1415 [1340-1490] ГтС (5190 [4910-5460] ГтCO₂) до приблизительно 1100 [980-1250] ГтС (4030 [3590-4580] ГтCO₂). {7.3, 10.4}
 - Если бы радиационное воздействие стабилизировалось в 2100 году на уровнях сценариев В1 или А1В1⁴, то все равно ожидалось бы дальнейшее повышение глобальной средней температуры приблизительно на 0,5°C, в основном к 2200 году. {10.7}
 - Если бы радиационное воздействие стабилизировалось к 2100 году на уровнях А1В1⁴, то одно только тепловое расширение привело бы к повышению уровня моря к 2300 году на 0,3-0,8 м (по сравнению с 1980-1999 годами). Тепловое расширение продолжалось бы многие столетия, поскольку для переноса тепла в глубины океана необходимо определенное время. {10.7}
 - Уменьшение Гренландского ледового щита, согласно проекциям, будет продолжать способствовать повышению уровня моря после 2100 года. Существующие модели утверждают, что потери ледовой массы повышаются с температурой быстрее, чем увеличение массы благодаря осадкам, и что поверхностный баланс массы становится отрицательным, когда глобальное среднее потепление (по сравнению с доиндустриальными значениями) превышает 1,9°C-4,6°C. Если бы отрицательный поверхностный баланс массы сохранялся тысячелетиями, это привело бы к практически полному исчезновению Гренландского ледового щита и повышению уровня моря приблизительно на 7 м. Соответствующие будущие температуры в Гренландии сравнимы с теми, которые установлены для последнего межледникового периода 125000 лет назад, когда, по палеоклиматическим данным, площадь полярного материкового льда уменьшилась, что привело к повышению уровня моря на 4-6 м. {6.4, 10.7}
- Динамические процессы, связанные с ледовыми потоками, не включены в существующие модели, но заметными в последних наблюдениях, могли бы усугубить уязвимость ледовых щитов к потеплению, усиливая повышение уровня моря в будущем. Понимание этих процессов ограничено, и единой точки зрения относительно порядка их величины нет. {4.6, 10.7}
- Текущие глобальные модельные исследования дают проекцию о том, что Антарктический ледовый щит останется слишком холодным для масштабного поверхностного таяния и что масса его возрастет благодаря усилению снегопадов. При этом, однако, чистая потеря ледовой массы будет иметь место, если в балансе массы ледового щита будет доминировать динамическая убыль льда. {10.7}
 - Как прошлые, так и будущие антропогенные выбросы углекислого газа будут продолжать способствовать потеплению и повышению уровня моря в течение более чем тысячелетия, вследствие временных масштабов, необходимых для удаления этого газа из атмосферы. {7.3, 10.3}

СЦЕНАРИИ ВЫБРОСОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОМУ ДОКЛАДУ МГЭИК О СЦЕНАРИЯХ ВЫБРОСОВ (СДСВ)¹⁷

A1. Сюжетная линия и сценарная семья A1 содержат описание будущего мира, характеризуемого очень быстрым экономическим ростом, глобальным населением, показатели которого достигают пиковых значений в середине века с последующим уменьшением, а также быстрым внедрением новых и более эффективных технологий. Основополагающими темами являются: постепенное сближение разных регионов, укрепление потенциала и активизация культурных и социальных взаимосвязей при значительном уменьшении региональных различий в доходе на душу населения. Сценарная семья A1 разделяется на три группы, дающие описание альтернативных вариантов технологического изменения в энергетической системе. Три группы A1 отличаются своим центральным технологическим элементом. Значительная доля ископаемых видов топлива (A1F1), неископаемые источники энергии (A1T) или равновесие между всеми источниками (A1B) (где равновесие определяется в качестве не слишком большой зависимости от одного конкретного источника энергии, исходя из того, что аналогичные темпы повышения эффективности применяются в отношении всех технологий энергоснабжения и конечного использования).

A2. В сюжетной линии и сценарной семье A2 дается описание очень неоднородного мира. Основополагающей темой является самообеспечение и сохранение местной самобытности. Показатели рождаемости в разных регионах очень медленно сближаются, результатом чего является постоянный рост общей численности населения. Экономическое развитие имеет главным образом региональную направленность, а экономический рост в расчете на душу населения и технологические изменения являются более фрагментарными и медленными по сравнению с другими сюжетными линиями.

B1. Сюжетная линия и сценарная семья B1 содержат описание движущегося в одном направлении мира с тем же самым глобальным населением, которое достигает максимальной численности в середине века, а затем уменьшается, как и в сюжетной линии A1, однако при быстрых изменениях в экономических структурах в направлении сервисной и информационной экономики с уменьшением материальной интенсивности и внедрением чистых и ресурсосберегающих технологий. Главное внимание уделяется глобальным решениям экономической, социальной и экологической устойчивости, включая большую справедливость, но без дополнительных инициатив, связанных с климатом.

B2. Сюжетная линия и сценарная семья B2 содержат описание мира, в котором главное внимание уделяется локальным решениям проблемы экономической, социальной и экологической устойчивости. Это мир с постоянно увеличивающимся глобальным населением при темпах ниже, чем A2, промежуточными уровнями экономического развития и менее быстрыми и более разнообразными технологическими изменениями по сравнению с сюжетными линиями A1 и B1. Хотя данный сценарий также ориентирован на охрану окружающей среды и социальную справедливость, главное внимание в нем уделяется местным и региональным уровням.

Для каждой из шести сценарных групп - A1B, A1F1, A1T, A2, B1 и B2 - был выбран иллюстративный сценарий. Все сценарии следует рассматривать как одинаково рациональные.

Сценарии СДСВ не включают дополнительные климатические инициативы, что означает отсутствие сценариев, которые прямо подразумевают выполнение Рамочной конвенции ООН об изменении климата или достижение целей по выбросам, поставленных в Киотском протоколе.

¹⁷ Сценарии выбросов не оцениваются в данном докладе Рабочей группы I МГЭИК. Данная вставка с описанием сценариев СДСВ взята из ТДО и прошла предварительное построчное утверждение Группой экспертов.

Доклад, принятый Рабочей группой I Межправительственной группы экспертов по изменению климата, но не утвержденный в деталях

«Принятие» докладов МГЭИК на сессии Рабочей группы или Группы экспертов означает, что материал не проходил постстрочное обсуждение и согласование, но, тем не менее, представляет всесторонний, объективный и уравновешенный взгляд на предмет рассмотрения.

Техническое резюме

Ведущие авторы-координаторы:

Сьюзен Соломон (США), Дахе Чин (Китай), Мартин Мэннинг (США, Новая Зеландия)

Ведущие авторы:

Ричард Б. Элли (США), Терье Бернстен (Норвегия), Натаниэль Л. Биндофф (Австралия), Чен Женлинь (Китай), Амнат Чидтайсонг (Таиланд), Джонатан М. Грегори (Великобритания), Габриэле С. Хегерл (США, Германия), Мартин Хейманн (Германия, Швейцария), Брюс Хьюитсон (ЮАР), Брайан Дж. Хоскинс (Великобритания), Фортунат Джоос (Швейцария), Жан Жузель (Франция), Владимир Катцов (Россия), Ульрике Ломан (Швейцария), Таро Мацуно (Япония), Марио Молина (США, Мексика), Невилл Николлс (Австралия), Джонатан Оверпек (США), Грасиэла Рага (Мексика, Аргентина), Венкатачалам Рамасвами (США), Джиавен Рен (Китай), Матильде Рустикуччи (Аргентина), Ричард Сомервилл (США), Томас Ф. Стоккер (Швейцария), Рональд Дж. Стауффер (США), Пенни Уэттон (Австралия), Ричард А. Вуд (Великобритания), Дэвид Рэтт (Новая Зеландия)

Содействующие авторы

Дж. Арбластер (США, Австралия), Дж. Брассье (США, Германия), Дж. Х. Кристенсен (Дания), К.Л. Денман (Канада), Д.В. Фейхи (США), П. Форстер (Великобритания), Дж. Хейвуд (Великобритания), Е. Янсен (Норвегия), П.Д. Джонс (Великобритания), Р. Кнутти (Швейцария), Х. ле Тройт (Франция), П. Лемке (Германия), Г. Меель (США), Д. Рэндалл (США), Д.А. Стоун (Великобритания, Канада), К.Е. Тренберт (США), Дж. Виллебранд (Германия), Ф. Цвирс (Канада)

Редакторы-рецензенты

Канри Бунпрагоб (Таиланд), Филиппо Джорджи (Италия), Бубу Пате Джаллоу (Гамбия)

Цитируя данное «Техническое резюме», источник следует указывать так:

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood and D. Wratt, 2007: Technical Summary. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [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.

(Соломон, С., Д. Чин, М. Мэннинг, Р.Б. Элли, Т. Бернтсен, Н.Л. Биндофф, Чен Женлинь, А. Чидтайсонг, Дж.М. Грегори, Г.С. Хегерл, М. Хейманн, Б. Хьюитсон, Б.Дж. Хоскинс, Ф. Джоос, Ж. Жузель, В. Катцов, У. Ломан, Т. Мацуно, М. Молина, Н. Николлс, Дж. Оверпек, Г. Рага, В. Рамасвами, Дж. Рен, М. Рустикуччи, Р. Сомервилл, Т.Ф. Стоккер, П. Уэттон, Р.А. Вуд и Д. Рэтт, 2007: «Техническое резюме», в докладе «Изменение климата, 2007 г.: физическая научная основа. Материал Рабочей группы I к Четвертому докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата об оценках» [Соломон, С., Д. Чин, М. Мэннинг, Чен Женлинь, М. Маркис, К.Б. Аверит, М. Тигнор и Х.Л. Миллер (ред.)])

Содержание

TS.1 Введение	21	TS.4 Понимание и объяснение причин изменения климата	62
TS.2 Изменения в человеческих и естественных факторах климата	21	Вставка TS.7 Оценка моделей общей циркуляции системы «атмосфера-океан».....	63
Вставка TS.1 Трактовка неопределенностей в оценке Рабочей группы I.....	22	TS.4.1 Достижения в объяснении причин изменений температуры глобального масштаба в период инструментальных наблюдений: атмосфера, океан и лед ...	64
TS.2.1 Парниковые газы	23	TS.4.2 Объяснение причин пространственных и временных изменений температуры... 66	
TS.2.2 Аэрозоли	30	TS.4.3 Объяснение причин изменений в циркуляции, осадках и других переменных климата	68
TS.2.3 Конденсационные следы самолетов, перистые облака, землепользование и другие эффекты.....	31	TS.4.4 Палеоклиматические исследования причин изменения климата.....	69
TS.2.4 Радиационное воздействие вследствие солнечной активности и извержений вулканов	31	TS.4.5 Реакция климата на радиационное воздействие	69
TS.2.5 Результирующее глобальное радиационное воздействие, потенциалы глобального потепления и характер воздействия	32	TS.5 Прогнозирование будущих изменений климата	72
TS.2.6 Приземное воздействие и гидрологический цикл.....	36	Вставка TS.8 Иерархия моделей глобального климата.....	72
TS.3 Наблюдения за изменениями климата	37	Вставка TS.9 Инерция изменения климата.....	73
TS.3.1 Атмосферные изменения: инструментальные наблюдения	37	TS.5.1 Понимание краткосрочного изменения климата.....	74
Вставка TS.2 Режимы (виды) изменчивости климата	41	TS.5.2 Крупномасштабные проекции на XXI век.....	75
TS.3.2 Изменения в криосфере: инструментальные наблюдения	45	Вставка TS.10 Региональное уменьшение масштаба.....	79
Вставка TS.3 Динамика и стабильность ледовых щитов ...	46	TS.5.3 Проекция регионального масштаба	82
TS.3.3 Изменения в океане: инструментальные наблюдения	50	TS.5.4 Связь между изменением климата и изменениями в биогеохимических циклах	83
Вставка TS.4 Уровень моря.....	54	TS.5.5 Последствия климатических процессов и их временных масштабов для долгосрочных проекций.....	86
TS.3.4 Согласованность между наблюдениями.....	56	TS.6 Надежные выводы и ключевые неопределенности	88
Вставка TS.5 Экстремальные метеорологические явления..	57	TS.6.1 Изменения в человеческих и естественных факторах климата	88
Вставка TS.6 Орбитальное воздействие	59	TS.6.2 Наблюдения за изменениями климата... 90	
TS.3.5 Анализ палеоклиматических данных	60	TS.6.3 Понимание и атрибуция изменения климата	95
		TS.6.4 Проекция будущих изменений климата... 96	

TS.1 Введение

За шесть лет после выхода в свет Третьего доклада МГЭИК об оценках (ТДО) достигнут значительный прогресс в понимании прошлых и недавних изменений климата и в проекциях будущих изменений. Эти успехи стали результатом больших массивов новых данных, более совершенного анализа данных, лучшего понимания и моделирования физических процессов в моделях климата, более обширного исследования областей неопределенности результатов моделирования. Укрепление доверия к климатологии, обеспеченное этими событиями, очевидно в этом вкладе Рабочей группы I в Четвертый доклад МГЭИК об оценках.

Хотя в этом докладе представлена новая и важная в стратегическом аспекте информация о научном понимании изменения климата, сложность климатической системы и множество взаимодействий, которые определяют ее поведение, накладывают ограничения на нашу способность полностью понять будущее направление развития глобального климата Земли. До сих пор нет полного физического понимания многих компонентов климатической системы и их роли в изменении климата. Среди основных неопределенностей – аспекты ролей, которые играют облака, криосфера, океаны, землепользование и связи между климатом и биогеохимическими циклами. Области науки, освещенные в этом докладе, продолжают быстро развиваться, и следует признать, что нынешняя оценка отражает научное понимание, основанное на оцененной экспертами литературе, доступной к середине 2006 года.

Основные выводы оценки Рабочей группы I МГЭИК представлены в «Резюме для политиков». В настоящем «Техническом резюме» приведен более подробный обзор научной основы этих выводов и «путеводитель» по главам основного доклада. Резюме сосредоточено на основных выводах и освещении того, что нового появилось после ТДО. Структура «Технического резюме» следующая:

- раздел 2: обзор текущего научного понимания естественных и антропогенных факторов, приводящих к изменениям климата;
- раздел 3: обзор наблюдаемых изменений в климатической системе (включая атмосферу, океаны и криосферу) и их связей с физическими процессами;

- раздел 4: обзор объяснений причин наблюдаемых изменений климата на основе моделей климата и физического понимания степени, в которой изменение климата может быть приписано конкретным факторам, и новой оценки чувствительности климата к повышению концентрации парниковых газов;
- раздел 5: обзор проекций краткосрочных и долгосрочных изменений климата, включая временные масштабы реакций на изменения в воздействии и вероятностную информацию о будущих изменениях климата;
- раздел 6: резюме наиболее надежных выводов и ключевых неопределенностей в текущем понимании физической науки об изменении климата.

После каждого пункта «Технического резюме» с изложением существенных результатов следует ссылка в фигурных скобках на соответствующую главу (главы) основного доклада, где можно найти подробную оценку научной литературы и дополнительную информацию.

TS.2 Изменения в человеческих и естественных факторах климата

Глобальный средний климат Земли определяется поступающей с Солнца энергией и свойствами Земли и ее атмосферы, а именно отражением, поглощением и излучением энергии в атмосфере и на поверхности. Хотя изменения в полученной солнечной энергии (вызванные, например, колебаниями в орбите вращения Земли вокруг Солнца) неизбежно влияют на энергетический баланс Земли, свойства атмосферы и земной поверхности тоже важны, и на них могут влиять климатические обратные связи. Значение климатических обратных связей очевидно из характера прошлых изменений климата, зафиксированных в ядрах льда возрастом до 650 тысяч лет.

В нескольких аспектах атмосферы и земной поверхности, происходят изменения, которые преобразуют глобальный энергетический баланс Земли и могут поэтому вызывать изменения климата. Среди них – повышение концентрации парниковых газов, действие которых увеличивает поглощение атмосферой исходящей радиации, и повышение

содержания аэрозолей (микроскопических частиц или капелек), которые отражают и поглощают поступающее солнечное излучение и изменяют

радиационные свойства облаков. Такие изменения обуславливают радиационное воздействие климатической системы.¹ Воздействующие

Вставка TS.1. Трактовка неопределенностей в оценке Рабочей группы I

Важность согласованной и прозрачной трактовки неопределенностей четко признана МГЭИК при подготовке ее оценок изменения климата. Повышенное внимание, уделенное официальной трактовке неопределенностей в предыдущих оценках, отражено в разделе 1.6. Чтобы обеспечить согласованность в общей трактовке неопределенностей всеми тремя Рабочими группами, авторов Четвертого доклада об оценках попросили следовать краткому набору руководящих принципов определения и описания неопределенностей в контексте оценки². В данной вставке изложен подход, который Рабочая группа I использовала для этих применений руководящих принципов, и освещены некоторые аспекты трактовки неопределенностей, специфические для оцениваемого здесь материала.

Неопределенности можно классифицировать несколькими разными способами в зависимости от их происхождения. Два основных типа – «неопределенности значений» и «структурные неопределенности». Неопределенности значений вытекают из неполного определения конкретных значений или результатов, например, когда данные неточны или не в полной мере представляют интересующее нас явление. Структурные неопределенности вытекают из неполного понимания процессов, которые управляют конкретными значениями или результатами, например, когда концептуальная основа или модель, используемая для анализа, не включает все необходимые процессы или зависимости. Неопределенности значений обычно оцениваются с помощью статистических методов и выражаются вероятностным способом. Структурные неопределенности обычно описываются путем изложения авторами коллективной оценки своей уверенности в правильности результата. В обоих случаях оценка неопределенностей предполагает, по сути, описание пределов знания и по этой причине включает экспертную оценку состояния этого знания. Другой тип неопределенности возникает в системах, которые либо хаотичны, либо не полностью детерминированы по характеру, и это также ограничивает нашу способность составлять проекции всех аспектов изменения климата.

В научной литературе, оцениваемой здесь, применяется целый ряд других общих способов классификации неопределенностей. Неопределенности, связанные со «случайными погрешностями», имеют свойство уменьшаться по мере накопления дополнительных измерений, тогда как неопределенности, связанные с «систематическими погрешностями», такого свойства не имеют. При работе с климатическими измерениями значительное внимание уделялось выявлению систематических ошибок или непреднамеренных предвзятостей, вытекающих из проблем выбора данных и методов анализа и комбинирования данных. Для выявления и объяснения изменений климата и для разработки вероятностных проекций будущих параметров климата были разработаны специализированные статистические методы, основанные на качественном анализе. Эти методы описаны в соответствующих главах.

Терминология достоверности	Степень уверенности в правильности
<i>Очень высокая степень достоверности</i>	Минимум 9 шансов из 10
<i>Высокая степень достоверности</i>	Около 8 шансов из 10
<i>Около 8 шансов из 10</i>	Около 5 шансов из 10
<i>Низкая степень достоверности</i>	Около 2 шансов из 10
<i>Очень низкая степень достоверности</i>	Меньше 1 шанса из 10

Отметим, что «низкая степень достоверности» и «очень низкая степень достоверности» применяются только для сфер, представляющих значительный интерес, и там, где подход, основанный на риске, оправдан.

В главе 2 настоящего доклада используется родственный термин «уровень научного понимания», когда описываются неопределенности в разных составляющих радиационного воздействия. Эта терминология используется для сообразности с Третьим докладом об оценках, и в основе, на которой авторы определяли конкретные уровни научного понимания, используется сочетание подходов, соответствующих руководящим принципам по оценке неопределенностей, подробно разъясненным в разделе 2.9.2 и табл. 2.11.

¹ «Радиационное воздействие» – это мера влияния, которое тот или иной фактор оказывает на изменение баланса поступающей и уходящей энергии в системе «Земля-атмосфера», показатель важности фактора как потенциального механизма изменения климата. Положительное воздействие обычно нагревает земную поверхность, а отрицательное – охлаждает ее. В данном докладе значения радиационного воздействия даны для изменений относительно доиндустриальных условий, определенных на 1750 год, и выражены в ваттах на квадратный метр (Вт/м²). Если не указано иное, они относятся к глобальному и годовому среднему значению. Дополните льные подробности см. в Глоссарии.

² Руководящие принципы МГЭИК по оценке неопределенностей приведены в дополнительных материалах к данному докладу.

Ниже приведены стандартные термины, применяемые в данном докладе для определения вероятности результата или исхода, если он может быть оценен вероятностно:

Терминология вероятности	Вероятность наступления/исхода
<i>Практически определено</i>	> 99%
<i>Чрезвычайно вероятно</i>	> 95%
<i>Весьма вероятно</i>	> 90%
<i>Вероятно</i>	> 66%
<i>Скорее вероятно, чем нет</i>	> 50%
<i>Так же вероятно, как и нет</i>	33 to 66%
<i>Маловероятно</i>	< 33%
<i>Весьма маловероятно</i>	< 10%
<i>Чрезвычайно маловероятно</i>	< 5%
<i>Исключительно маловероятно</i>	< 1%

Термины «чрезвычайно вероятно», «чрезвычайно маловероятно» и «скорее вероятно, чем нет», определенные выше, добавлены к терминам, приведенным в Руководящих принципах МГЭИК по оценке неопределенностей, с целью обеспечения более конкретной оценки таких аспектов, как объяснение причин и радиационное воздействие. Если иное не указано, значения, данные в настоящем докладе, представляют собой наилучшие оценки, и их область неопределенности равна 90%-ным доверительным интервалам (т.е. существует, по оценке, 5% вероятность того, что значение меньше нижней границы диапазона или больше верхней его границы). Отметим, что в некоторых случаях характер ограничений значения или другой доступной информации может означать асимметричное распределение области неопределенности вокруг наилучшей оценки. В таких случаях область неопределенности указывается в квадратных скобках после наилучшей оценки.

факторы могут значительно отличаться друг от друга по масштабу воздействия, а также по пространственным и временным параметрам. Положительные и отрицательные радиационные воздействия способствуют, соответственно, повышению и понижению глобальной средней приземной температуры. В данном разделе приводятся новые сведения для понимания предполагаемых антропогенных и естественных радиационных воздействий.

Общая реакция глобального климата на радиационное воздействие – сложная, вследствие ряда положительных и отрицательных обратных связей, которые могут сильно влиять на климатическую систему (см., например, разделы 4.5 и 5.4). Хотя водяной пар – сильный парниковый газ, его концентрация в атмосфере меняется в ответ на изменения приземного климата, и это следует рассматривать как эффект обратной связи, а не как радиационное воздействие. В данном разделе также подытожены изменения поверхностного энергетического баланса и его связи с гидрологическим циклом. Отмечено также действие таких факторов, как аэрозоли, на осадки.

TS.2.1 Парниковые газы

Доминирующий фактор в радиационном воздействии на климат в индустриальную эпоху – это повышающаяся концентрация различных парниковых газов в атмосфере. Некоторые из основных парниковых газов образуются естественным путем, но повышение их концентрации в атмосфере за последние 250 лет вызвано в значительной степени деятельностью человека. Некоторые другие парниковые газы полностью являются результатом деятельности человека. Вклад каждого парникового газа в радиационное воздействие за конкретный период времени определяется изменением его концентрации в атмосфере за этот период и эффективной ролью газа в нарушении радиационного баланса. Современные концентрации в атмосфере разнообразных парниковых газов, рассмотренных в этом докладе, различаются между собой более чем на восемь порядков величины (на 108), а их радиационная эффективность – более чем на четыре порядка величины (на 104), что отражает колоссальное разнообразие их свойств и происхождения.

Текущая концентрация того или иного парникового газа в атмосфере – это конечный результат истории выбросов этого газа и удаления его из атмосферы. Газы и аэрозоли, рассмотренные здесь, испускаются в атмосферу в ходе деятельности человека или образуются из прекурсоров, выброшенных в атмосферу. Эти выбросы компенсируются процессами химического и физического удаления. За важным исключением углекислого газа (CO_2), эти процессы ежегодно удаляют конкретную долю количества газа из атмосферы, и величина, обратная скорости этого удаления, дает среднее время жизни этого газа. В некоторых случаях скорость удаления может изменяться в зависимости от концентрации газа или других свойств атмосферы (например, температуры или фоновых химических условий).

Долгоживущие парниковые газы (ДЖПГ), например, CO_2 , метан (CH_4) и закись азота (N_2O), химически стабильны и сохраняются в атмосфере от десяти лет до нескольких столетий и дольше, поэтому их выбросы оказывают долговременное воздействие на климат. Поскольку эти газы долгоживущие, они хорошо перемешиваются во

всей атмосфере гораздо быстрее, чем удаляются, и их глобальные концентрации можно точно оценить по данным из нескольких мест. Углекислый газ не имеет конкретного времени жизни, так как он непрерывно циклически движется между атмосферой, океанами и биосферой суши, и для его полного удаления из атмосферы требуется целый ряд процессов с разными временными масштабами.

Короткоживущие газы (например, сернистый газ и угарный газ) – химически активные вещества, которые удаляются, как правило, процессами естественного окисления в атмосфере, путем удаления на поверхности или вымывания осадками; их концентрации поэтому крайне непостоянны. Озон – важный парниковый газ, который образуется и разрушается вследствие химических реакций с участием других составляющих атмосферы. В тропосфере влияние человека на озон осуществляется в основном через изменения в газах-прекурсорах, которые ведут к образованию озона, тогда как в стратосфере влияние человека идет в основном через изменения скорости удаления озона из-за хлорфторуглеродов (ХФУ) и других озоноразрушающих веществ.

ДАННЫЕ КЕРНОВ ЛЬДА ЗА ЛЕДНИКОВЫЙ И МЕЖЛЕДНИКОВЫЙ ПЕРИОДЫ

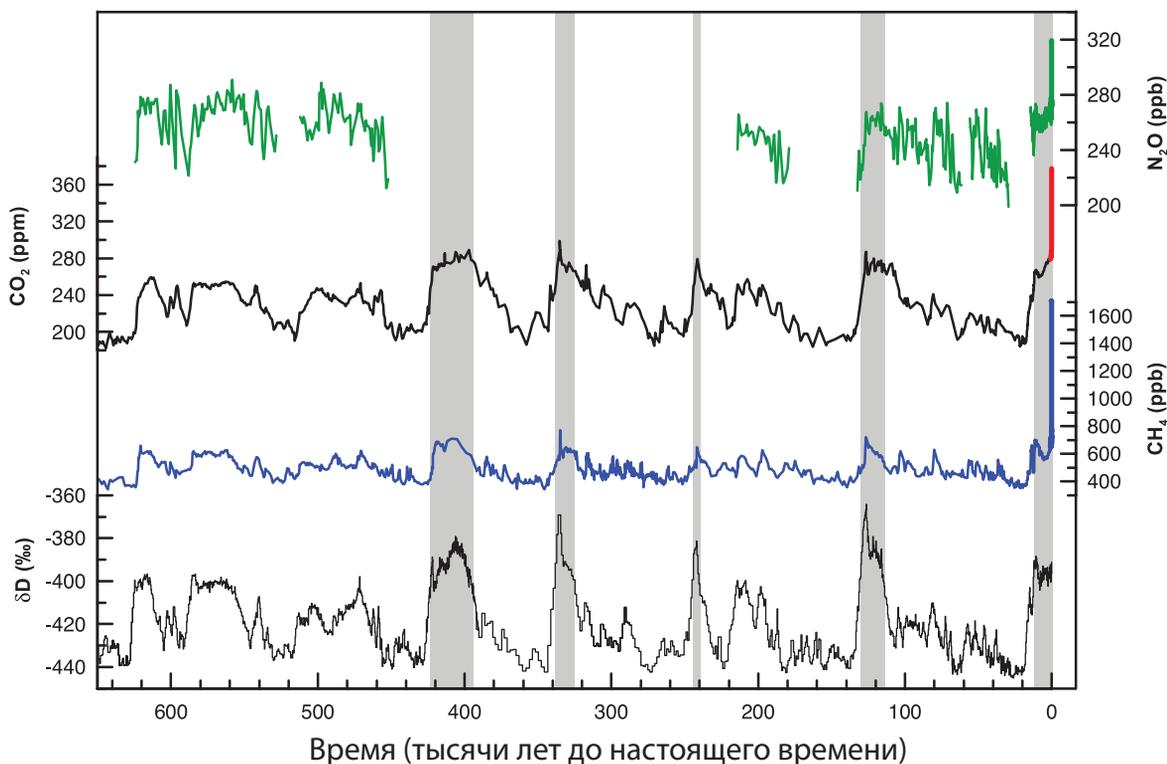


Рис. TS.1. Колебания содержания дейтерия (δD) в антарктическом льде, которое является косвенным показателем локальной температуры, и атмосферные концентрации парниковых газов – углекислого газа (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O) – в воздухе, попавшем внутрь кернов, а также данные последних атмосферных измерений. Данные охватывают 650 000 лет; затененные полосы соответствуют нынешнему и предыдущим межледниковым теплым периодам {Адаптировано из рис. 6.3}

ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПО ДАННЫМ КЕРНОВ ЛЬДА И СОВРЕМЕННЫМ ДАННЫМ

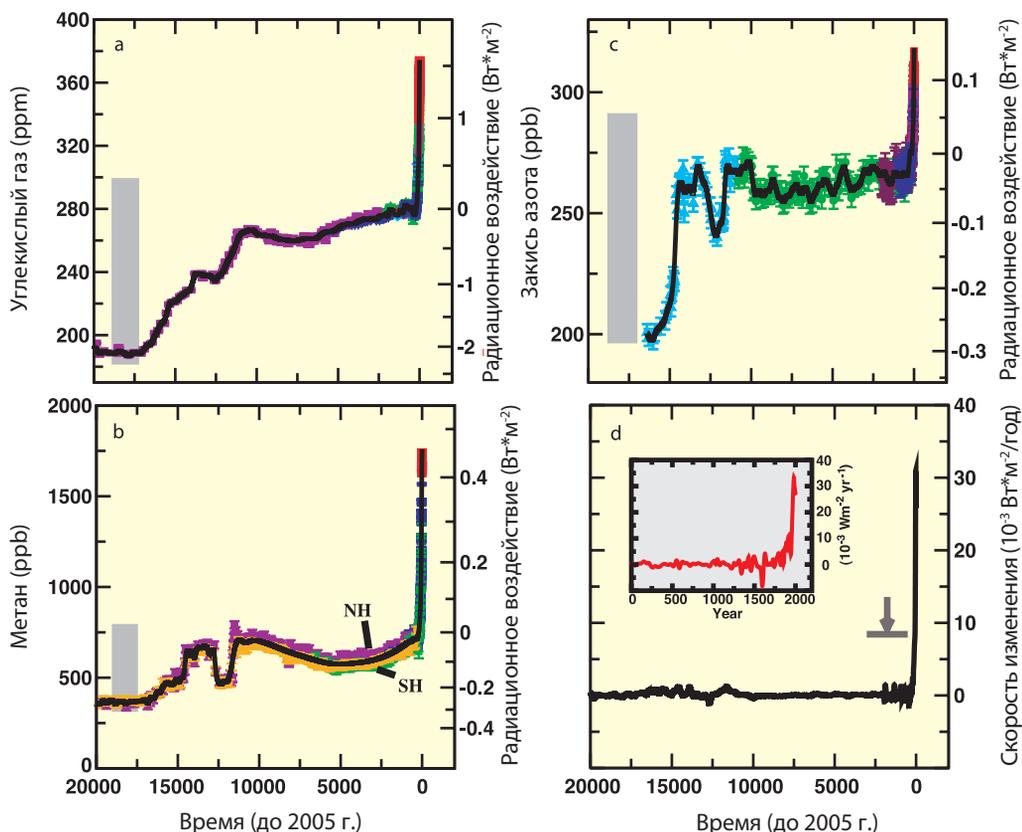


Рис. TS.2. Концентрации и радиационное воздействие (а) углекислого газа (CO_2), (b) метана (CH_4), (c) закиси азота (N_2O) и (d) скорость изменения их совокупного радиационного воздействия за последние 20 тысяч лет, восстановленные из данных антарктического и гренландского льда, фирновых данных (символы) и непосредственных атмосферных измерений (панели a,b,c, красные линии). Серые столбики – реконструированные диапазоны естественной изменчивости за прошедшие 650 тыс. лет. Скорость изменения радиационного воздействия (панель d, черная линия) аппроксимирована с помощью сплайн-функций по данным о концентрации. Ширина возрастного разброса в ледовых данных изменяется от 20 лет для мест с высоким снегонакоплением, таких как Лоу-Доум в Антарктиде, до почти 200 лет для мест с низким снегонакоплением, таких как Доум-Си, Антарктида. Стрелка показывает пик скорости изменения радиационного воздействия, который возник бы, если бы антропогенные сигналы CO_2 , CH_4 и N_2O были сглажены в соответствии с условиями в пункте низкого снегонакопления Доум-Си. Отрицательная скорость изменения воздействия около 1600 г., показанная во вставке в панели d, вызвана уменьшением концентрации CO_2 приблизительно на 10 ppm в данных, полученных в Лоу-Доум. {рис 6.4}

TS.2.1.1 Изменения концентрации углекислого газа, метана и закиси азота в атмосфере

Нынешние концентрации CO_2 и CH_4 в атмосфере намного превышают доиндустриальные значения, определенные по кернам полярного льда возрастом более 650 тыс. лет. Многие доказательства подтверждают, что постиндустриальное повышение концентрации этих газов не является результатом действия естественных механизмов (см. рис. TS.1 и TS.2). {2.3, 6.3–6.5, ЧЗВ 7.1}

Суммарное радиационное воздействие на климат Земли вследствие повышения концентраций ДЖПГ CO_2 , CH_4 и N_2O и, вполне вероятно, темпы усиления суммарного воздействия из-за этих газов за период с 1750 года не имеют прецедентов за более чем 10000 лет (рис. TS.2). *Весьма вероятно, что устойчивый*

темп усиления общего радиационного воздействия этих парниковых газов, около +1 Вт/кв.м, за последние четыре десятилетия по меньшей мере в шесть раз выше, чем в любой момент в течение двух тысячелетий до индустриальной эпохи – период, для которого данные ледовых кернов имеют необходимое временное разрешение. Радиационное воздействие из-за этих ДЖПГ имеет наивысшую степень достоверности среди всех воздействующих факторов. {2.3, 6.4}

Концентрация CO_2 в атмосфере возросла с доиндустриального значения около 280 ppm до 379 ppm в 2005 году. Концентрация CO_2 за 8000 лет до индустриализации повысилась только на 20 ppm; внутривековые и вековые вариации были менее 10 ppm и вызваны были, вероятно, в основном естественными процессами. Однако с 1750 года

концентрация CO_2 повысилась почти на 100 ppm. В последние десять лет годовые темпы роста CO_2 были выше (среднее за 1995–2005 гг. – 1,9 ppm/год), чем сразу после начала непрерывных прямых атмосферных измерений (среднее за 1960–2005 гг. – 1,4 ppm/год). {2.3, 6.4, 6.5}

Рост концентрации CO_2 в атмосфере с доиндустриальных времен стал причиной радиационного воздействия силой $+1,66 \pm 0,17 \text{ Вт/м}^2$; этот вклад преобладает среди вкладов всех остальных составляющих радиационного воздействия, рассматриваемых в данном докладе. За десять лет с 1995 по 2005 г. темпы роста концентрации CO_2 в атмосфере привели к увеличению его радиационного воздействия на 20%. {2.3, 6.4, 6.5}

Выбросы CO_2 вследствие сжигания ископаемых видов топлива и из-за влияния изменений в землепользовании на углерод, содержащийся в растениях и почве, – главные источники повышения концентрации углекислого газа в атмосфере. С 1750 года, по оценкам, около двух третей антропогенных выбросов CO_2 стали результатом сжигания ископаемых видов топлива, а одна треть – изменений в землепользовании. Около 45% этого CO_2 осталось в атмосфере, около 30% поглотили океаны, а остальную часть – земная биосфера. Около половины выбросов CO_2 в атмосферу удаляется за 30 лет; еще 30% – за несколько столетий; остальные 20%, как правило, остаются в атмосфере многие тысячи лет. {7.3}

В последние десятилетия выбросы CO_2 продолжают расти (см. рис. TS.3). Глобальный годовой объем выбросов углекислого газа³ за счет сжигания ископаемых топлив возрос со среднего значения $6,4 \pm 0,4 \text{ ГтС/год}$ в 1990-е годы до $7,2 \pm 0,3 \text{ ГтС/год}$ в период 2000–2005 гг. Оценки выбросов CO_2 , связанных с изменением в землепользовании, усредненные за 1990-е годы, составили⁴ от 0,5 до 2,7 ГтС/год, с центральной оценкой 1,6 ГтС/год. В табл. TS. 1 показаны оценки баланса CO_2 за последние десятилетия. {2.3, 6.4, 7.3, ЧЗВ 7.1}

С 1980-х годов естественные процессы поглощения углекислого газа земной биосферой (остаточное поглощение почвой в табл. TS.1) и океанами удалили около 50% антропогенных выбросов (выбросы ископаемого CO_2 и поток за счет изменений в землепользовании в табл. TS.1). На эти процессы удаления влияет концентрация CO_2 в атмосфере и изменения климата. Поглощение океанами и земной биосферой имеет один порядок величины, однако поглощение земной биосферой более изменчиво и в 1990-е годы было больше, чем в 1980-е, приблизительно на 1 ГтС/год. Наблюдения показывают, что концентрации растворенного CO_2 в поверхностных слоях океана растут почти повсеместно, приблизительно ледя за повышением его концентрации в атмосфере, но со значительными региональными и временными различиями. {5.4, 7.3}

Поглощение углерода и его хранение в земной биосфере являются следствием чистой разницы между

Табл. TS.1. Глобальный углеродный баланс. Согласно договоренности, потокам CO_2 (ГтС/год) в атмосферу присваивается положительный знак, а поглощению из атмосферы (т.е. «поглотителям» CO_2) – отрицательный. Выбросы ископаемого CO_2 за 2004 и 2005 гг. основаны на предварительных оценках. Из-за ограниченного количества проведенных исследований области неопределенности для чистого потока «земля-атмосфера» и его компонентов приняты как 65%-ные доверительные интервалы и не учитывают межгодовую изменчивость (см. раздел 7.3). НД означает «нет данных».

	1980-е гг.	1990-е гг.	2000–2005 гг.
Повышение концентрации в атмосфере	3.3 ± 0.1	3.2 ± 0.1	4.1 ± 0.1
Выбросы ископаемого углекислого газа	5.4 ± 0.3	6.4 ± 0.4	7.2 ± 0.3
Чистый поток океан-атмосфера	-1.8 ± 0.8	-2.2 ± 0.4	-2.2 ± 0.5
Чистый поток земля-атмосфера	-0.3 ± 0.9	-1.0 ± 0.6	-0.9 ± 0.6
Делится следующим образом:			
Поток за счет изменений в землепользовании	1.4 (0.4 to 2.3)	1.6 (0.5 to 2.7)	НД
Остаточное поглощение почвой	-1.7 (-3.4 to 0.2)	-2.6 (-4.3 to -0.9)	НД

³ Выбросы ископаемого CO_2 включают выбросы при производстве, распределении и потреблении ископаемых топлив и при производстве цемента. Выброс 1 ГтС соответствует 3,67 Гт CO_2 .

⁴ Как поясняется в разделе 7.3, области неопределенности для выбросов за счет изменений в землепользовании и, следовательно, для всего баланса углеродного цикла, могут быть приняты только как 65% доверительные интервалы.

ВЫБРОСЫ И РОСТ КОНЦЕНТРАЦИИ CO₂

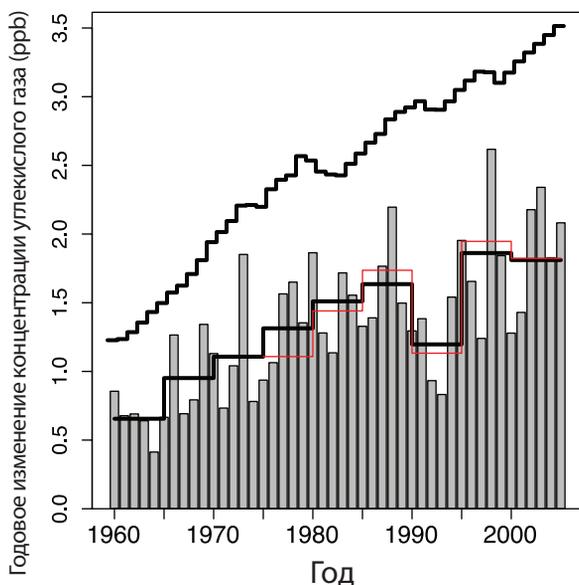


Рис. TS.3. Годовые изменения в глобальной средней концентрации CO₂ (серые полосы) и их пятилетние средние по данным двух разных сетей измерений (красная и нижняя черная ступенчатые линии). Пятилетние средние сглаживают кратковременные возмущения, связанные с сильными эпизодами ЭНЮК в 1972, 1982, 1987 и 1997 гг. Неопределенности в пятилетних средних указаны разницей между красной и нижней черной линиями и составляют порядка 0,15 ppb. Верхняя ступенчатая линия показывает увеличения, которые имели бы место, если бы все выбросы ископаемых топлив оставались в атмосфере, а других выбросов не было. {Рис. 7.4}

поглощением при росте растительности, изменениях в лесовозобновлении и секвестрации и выбросами вследствие гетеротрофного дыхания, лесозаготовок, обезлесения, пожаров, ущерба от загрязнений и других факторов возмущения, воздействующих на биомассу и почву. Повышение и понижение частоты пожаров в разных регионах повлияло на общее поглощение углерода, а в бореальных областях выбросы вследствие пожаров за последние десятилетия возросли. Оценки чистых поверхностных потоков CO₂ из обратных исследований, использующих сети сбора атмосферных данных, демонстрируют значительное поглощение углекислого газа суши в средних широтах северного полушария и почти нулевые потоки между суши и атмосферой в тропиках, что означает, что тропическое обезлесение приблизительно уравнивается подростом. {7.3}

Кратковременная (межгодовая) изменчивость, наблюдаемая в темпах роста концентрации углекислого газа в атмосфере, регулируется в основном изменениями в потоке CO₂ между атмосферой и земной биосферой, а меньшая, но все же значительная часть обусловлена изменчивостью

океанических потоков (см. рис. TS.3). Изменчивость потокавземнойбиосфередиктуетсяклиматическими колебаниями, которые влияют на поглощение CO₂ растениями и возврат CO₂ в атмосферу при гниении органических материалов вследствие гетеротрофного дыхания и пожаров. Эпизоды Эль-Ниньо -Южного колебания (ЭНКО) – основной источник межгодовой изменчивости в темпах роста концентрации атмосферного CO₂, из-за их влияния на потоки через температуру поверхности суши и моря, осадки и частоту пожаров. {7.3}

Достоверно количественно оценить непосредственные последствия повышения концентрации атмосферного CO₂ для крупномасштабного земного поглощения углерода в настоящее время невозможно. Рост растений может стимулироваться повышением концентрации CO₂ в атмосфере и осаждением питательных веществ (эффекты обогащения). Однако большинство экспериментов и исследований показывают, что такие реакции относительно краткосрочны и сильно сопряжены с другими эффектами, такими как наличие воды и питательных веществ. Аналогичным образом, эксперименты и исследования влияния климата (температуры и влажности) на гетеротрофное дыхание лесной подстилки и почв двусмысленны. Отметим, что влияние изменения климата на поглощение углерода рассматривается отдельно в разделе TS.5.4. {7.3}

Содержание CH₄ в 2005 году, около 1774 ppb, более чем вдвое превышает его доиндустриальное значение. Концентрации метана в атмосфере за последние 10 тыс. лет медленно менялись от 580 до 730 ppb, а за последние два столетия возросли приблизительно на 1000 ppb, что стало самым быстрым изменением содержания этого газа по крайней мере за последние 80 тыс. лет. В конце 1970-х – начале 1980-х годов темпы роста концентрации метана демонстрировали максимумы выше уровня 1% в год, но с начала 1990-х годов они значительно уменьшились и в течение шестилетнего периода с 1999 по 2005 год были близкими к нулю. Рост содержания CH₄ имеет место там, где выбросы превышают объем удаления. Недавнее падение темпов роста подразумевает, что объем выбросов сейчас приблизительно равен объему удаления, что обусловлено, в первую очередь, окислением гидроксильной группой (ОН). После ТДО новые исследования с использованием двух независимых трасеров (метилхлороформа и ¹⁴CO) показывают, что в глобальном содержании ОН значительных долгосрочных изменений не наблюдается. Таким

образом, замедление темпов роста концентрации метана в атмосфере где-то с 1993 года, вероятно, вызвано приближением атмосферы к равновесию в период почти постоянных общих объемов выбросов. {2.3, 7.4, ЧЗВ 7.1}

Повышение концентрации CH_4 в атмосфере с доиндустриальных времен вызвало усиление радиационного воздействия на $0,48 \pm 0,05$ Вт/м². Среди парниковых газов это воздействие остается по порядку величины вторым, уступая только CO_2 . {2.3}

Текущие уровни атмосферного CH_4 обусловлены продолжающимися антропогенными выбросами CH_4 , которые превышают естественные выбросы. Общий объем выбросов метана можно точно определить по наблюдаемым концентрациям и независимым оценкам скорости удаления. Выбросы отдельных источников метана не так четко определены количественно, как общий объем выбросов, но являются по большей части биогенными и включают выбросы с водно-болотных угодий, от жвачных животных, выбросы, связанные с возделыванием риса и сжиганием биомассы, а также, в меньших объемах, выбросы промышленных источников, в том числе связанные со сжиганием ископаемых видов топлива. Это знание источников метана, вкупе с узким естественным диапазоном его концентраций за последние 650 тыс. лет (рис. TS. 1) и их динамичным ростом с 1750 года (рис. TS.2), позволяет сказать: весьма вероятно, что наблюдаемые долгосрочные изменения концентрации CH_4 обусловлены антропогенной деятельностью. {2.3, 6.4, 7.4}

В дополнение к замедлению за последние 15 лет рост концентрации метана в атмосфере отличался высокой межгодовой изменчивостью, которая еще не полностью объяснена. Самый большой вклад в межгодовую изменчивость за период 1996-2001 годы, как представляется, внесли колебания выбросов с водно-болотных угодий и от сжигания биомассы. Некоторые исследования указывают, что выбросы CH_4 с водно-болотных угодий сильно чувствительны к температуре и зависят от гидрологических изменений. Все имеющиеся результаты моделирования демонстрируют увеличение выбросов с водно-болотных угодий вследствие будущего изменения климата, но сильно разнятся в порядке величины такого эффекта положительной обратной связи. {7.4}

Концентрация N_2O в 2005 г. равнялась 319 ppb, приблизительно на 18% выше доиндустриального значения. Содержание закиси азота за последние несколько десятилетий повышалось почти линейно,

приблизительно на 0,8 ppb в год. Данные кернов льда показывают, что концентрация закиси азота в атмосфере изменилась менее чем на 10 ppb за 11500 лет, предшествовавших началу индустриальной эпохи. {2.3, 6.4, 6.5}

Повышение концентрации N_2O с доиндустриальных времен вызвало увеличение радиационного воздействия на $0,16 \pm 0,02$ Вт/м² и обусловлено преимущественно деятельностью человека, особенно сельским хозяйством и связанными с ним изменениями в землепользовании. По текущим оценкам, около 40% общего объема выбросов N_2O носят антропогенный характер, однако оценки отдельных источников продолжают отличаться значительной неопределенностью. {2.3, 7.4}

TS.2.1.3 Изменение концентрации атмосферных галоидоуглеводородов, стратосферного озона, тропосферного озона и других газов

ХФУ и гидрохлорфторуглероды (ГХФУ) – это парниковые газы, которые являются чисто антропогенными по происхождению и используются в целом ряде направлений. Выбросы этих газов сократились благодаря прекращению их производства в силу Монреальского протокола, и концентрация ХФУ-11 и ХФУ-113 в атмосфере сейчас снижается благодаря естественным процессам удаления. Наблюдения кернов полярного фирна после ТДО расширили имеющуюся информацию о временных рядах для некоторых из этих парниковых газов. Данные кернов льда и данные измерений в точке подтверждают, что причиной наблюдаемого повышения концентрации ХФУ и ГХФУ в атмосфере являются промышленные источники. {2.3}

Газы, контролируемые Монреальским протоколом, в 2005 году способствовали повышению прямого радиационного воздействия на $+0,32 \pm 0,03$ Вт/м², при этом ХФУ-12 продолжает оставаться третьим из самых важных долгоживущих факторов радиационного воздействия. На эти газы в совокупности приходится около 12% общего воздействия ДЖПГ. {2.3}

Концентрации промышленных фторированных газов, контролируемых Киотским протоколом (гидрофторуглеродов (ГФУ), перфторуглеродов (ПФУ), шестифтористой серы (SF_6)) относительно низкие, но быстро растут. Их суммарное радиационное воздействие в 2005 году составило $+0,017$ Вт/м². {2.3}

Тропосферный озон – короткоживущий парниковый газ, образующийся при химических реакциях прекурсоров в атмосфере и отличающийся значительной пространственной и временной изменчивостью. Более качественные измерения и моделирование улучшили понимание химических прекурсоров, которые ведут к образованию тропосферного озона, главным образом окиси углерода, окислов азота (включая источники и возможные долгосрочные тенденции в образовании молний) и формальдегида. В целом нынешние модели качественно описывают главные особенности нынешнего глобального распространения тропосферного озона на основе базовых процессов. Новые спутниковые измерения и измерения в точке устанавливают важные глобальные ограничения для этих моделей, однако, имеет место меньшая степень уверенности в их способности воспроизводить изменения концентрации озона, связанные со значительными изменениями в выбросах или климате, а также в их способности моделировать наблюдаемые долгосрочные тренды концентраций озона за XX век. {7.4}

Радиационное воздействие тропосферного озона, по оценкам, составляет $+0,35$ [$+0,25 - +0,65$] Вт/м² со средним уровнем научного понимания. Наилучшая оценка этого радиационного воздействия со времен ТДО не изменилась. Наблюдения показывают, что тенденции изменения концентрации тропосферного озона за последние несколько десятилетий варьируются по знаку и порядку величины во многих местах, однако есть признаки значительных тенденций к повышению на низких широтах. Модельные исследования радиационного

воздействия вследствие повышения концентрации тропосферного озона с доиндустриальных времен стали более сложными и всесторонними по сравнению с моделями, использованными в ТДО. {2.3, 7.4}

Радиационное воздействие вследствие разрушения стратосферного озона вызвано газами контролируемые Монреальским протоколом и, по повторной оценке, составило $-0,05 \pm 0,10$ Вт/м², меньше, чем в ТДО, со средним уровнем научного понимания. Тенденция все большего и большего

ОБЩАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ АЭРОЗОЛЕЙ

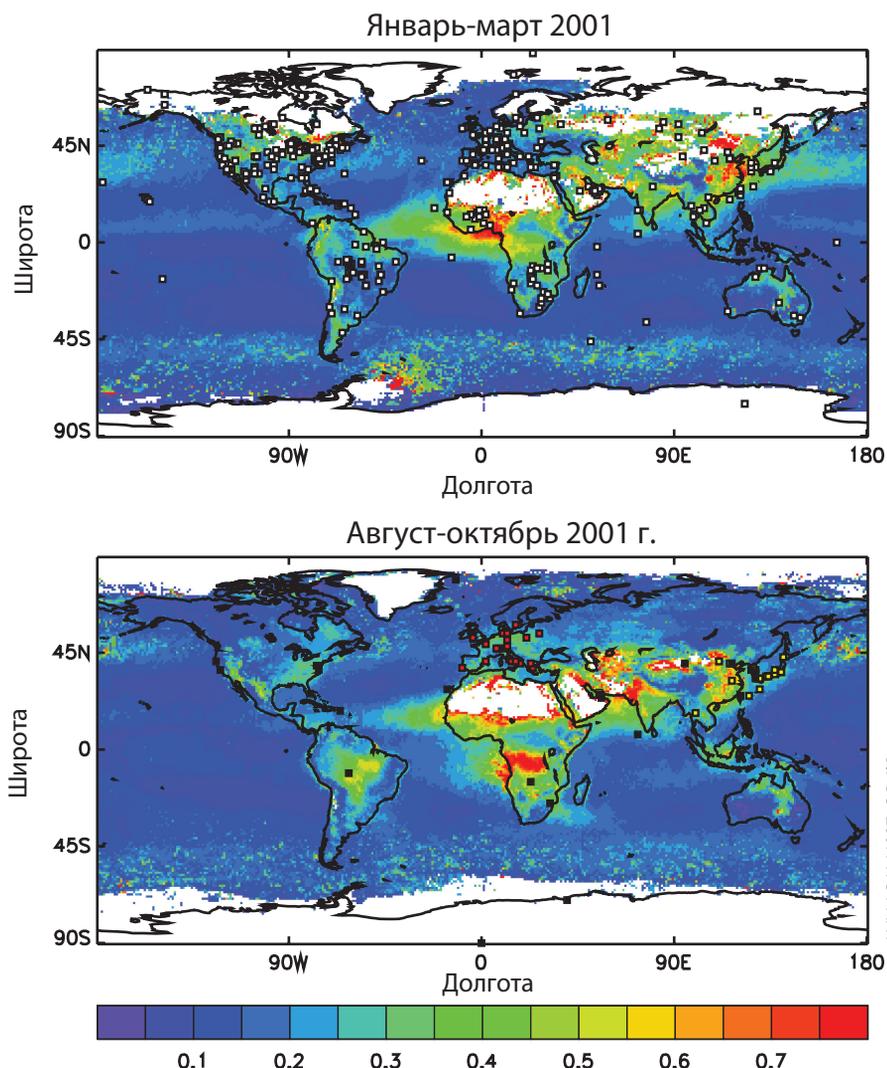


Рис. TS.4. (Вверху) Общая оптическая плотность аэрозолей (естественных плюс антропогенных) в середине видимого участка спектра, определенная спутниковыми измерениями за период январь-март 2001 г. и (внизу) август-октябрь 2001 г., которая иллюстрирует сезонные изменения объемов промышленных и биомассовых аэрозолей. Данные получены путем спутниковых измерений, дополненных двумя различными видами наземных измерений в пунктах, отмеченных на двух частях рисунка (детали см. в разделе 2.4.2). {Рис. 2.11}

истощения глобального стратосферного озонового слоя, которая наблюдалась в 1980-е и 1990-е годы, сейчас отсутствует, однако глобальная концентрация стратосферного озона все равно приблизительно на 4% ниже уровня, существовавшего до 1980 года, и еще не ясно, началось ли восстановление озона или нет. В дополнение к химическому разрушению озона динамические изменения, возможно, способствовали уменьшению его концентрации на средних широтах северного полушария. {2.3}

Прямые выбросы водяного пара в результате деятельности человека оказывают ничтожно малое влияние на радиационное воздействие. Однако, по мере повышения глобальных средних температур, концентрации водяного пара в тропосфере растут, что является важной обратной связью, но не воздействием на изменение климата. Прямые выбросы воды в атмосферу в результате антропогенной деятельности, преимущественно ирригации, являются возможным фактором воздействия, но они составляют менее 1% естественных источников атмосферного водяного пара. Прямой впрыск водяного пара в атмосферу при сгорании ископаемых топлив значительно меньше, чем от сельскохозяйственной деятельности. {2.5}

На основании модельных исследований переноса химических веществ радиационное воздействие повышения концентрации водяного пара в стратосфере вследствие окисления CH_4 составляет, по оценкам, $+0,07 \pm 0,05$ Вт/м². Уровень научного понимания низок, потому что вклад CH_4 в соответствующую вертикальную структуру изменения содержания водяного пара вблизи тропопаузы – неопределенный. Другие возможные антропогенные причины роста концентрации стратосферного водяного пара, которые могли бы способствовать радиационному воздействию, поняты недостаточно. {2.3}

TS.2.2 Аэрозоли

Прямое радиационное воздействие аэрозолей сейчас гораздо лучше оценивается количественно, чем раньше, а понимание его существенное расширилось по сравнению с ТДО, когда уровень научного понимания некоторых компонентов был очень низким. Суммарное прямое радиационное воздействие аэрозолей, учитывающее все типы аэрозолей, сейчас впервые может быть оценено как $-0,5 \pm 0,4$ Вт/м², со средне-низким уровнем научного понимания. Атмосферные модели стали более совершенными, и многие из них сейчас представляют все имеющие значение аэрозольные компоненты. Аэрозоли значительно различаются

своими свойствами, которые влияют на степень поглощения и рассеяния ими излучения, поэтому разные типы могут иметь результирующий охлаждающий или нагревающий эффект. Промышленный аэрозоль, состоящий в основном из смеси сульфатов, органического углерода, сажи, нитратов и промышленной пыли, ясно различим над многими континентальными регионами северного полушария. Улучшенные измерения в точке, со спутников и поверхности (см. рис. TS.4) позволили проверять результаты глобального моделирования содержания аэрозолей. Эти усовершенствования позволяют впервые количественно определить прямое радиационное воздействие аэрозолей, что является важным шагом вперед по сравнению с ТДО. Прямое радиационное воздействие отдельных видов остается менее определенным и, по модельным оценкам, составляет для сульфата $-0,4 \pm 0,2$ Вт/м², для органического углерода ископаемых топлив $-0,05 \pm 0,05$ Вт/м², для сажи ископаемых топлив $+0,2 \pm 0,15$ Вт/м², для сжигания биомассы $+0,03 \pm 0,12$ Вт/м², для нитрата $-0,1 \pm 0,1$ Вт/м², для минеральной пыли $-0,1 \pm 0,2$ Вт/м². Два недавних исследования кадастров выбросов подтверждают данные, полученные из кернов льда, и показывают, что глобальные антропогенные выбросы сульфатов за период 1980-2000 годы сократились и что географическое распределение воздействия сульфатов также изменилось. {2.4, 6.6}

Со времени ТДО произошли значительные изменения в оценках прямого радиационного воздействия вследствие сжигания биомассы и вследствие выбросов нитратных и минерально-пылевых аэрозолей. Оценка прямого радиационного воздействия аэрозоля, образующегося при сжигании биомассы, сейчас пересматривается – от отрицательной до почти нулевой, вследствие сильного влияния на оценку наличия этих аэрозолей над облаками. Впервые приведено радиационное воздействие вследствие нитратного аэрозоля. Для минеральной пыли диапазон прямого радиационного воздействия сократился вследствие уменьшения оценки ее антропогенной фракции. {2.4}

Влияние антропогенных аэрозолей на жидкую воду в облаках вызывает косвенный эффект альбедо облаков (в ТДО отмеченный как первый косвенный эффект), для которого впервые дана наилучшая оценка $-0,7$ [от $-0,3$ до $-1,8$] Вт/м². Количество глобальных модельных оценок эффекта альбедо жидкой воды в облаках со времени ТДО существенно увеличилось, причем они анализируются более точно. Оценка данного радиационного воздействия вытекает

из многочисленных модельных исследований, охватывающих больше видов аэрозолей и более подробно описывающих процессы взаимодействия между аэрозолями и облаками. Модельные исследования, учитывающие большее количество видов аэрозолей или ограниченные спутниковыми наблюдениями, дают, как правило, относительно более слабый эффект альbedo облаков. Несмотря на успехи и прогресс, достигнутые со времени ТДО, и сокращение разброса оценок воздействия, остаются существенные неопределенности в измерениях и в моделировании процессов, что ведет к низкому уровню научного понимания, но это – шаг вверх от очень низкого уровня понимания, отмеченного в ТДО. {2.4, 7.5, 9.2}

Среди других влияний аэрозолей – эффект времени жизни облаков, полупрямой эффект, взаимодействие аэрозолей со льдом в облаках. Эти эффекты считаются частью реакции климата, а не радиационными воздействиями. {2.4, 7.5}

TS.2.3 Конденсационные следы самолетов, перистые облака, землепользование и другие эффекты

Стойкие линейные конденсационные следы самолетов по всему миру незначительно повышают радиационное воздействие, на +0,01 [+0,003 - +0,03] Вт/м², при низком уровне научного понимания. Данная наилучшая оценка меньше, чем оценка в ТДО. Это различие вытекает из новых наблюдений за конденсационными следами и снижения оценок оптической плотности конденсационных следов. Для результирующего воздействия рассеянных конденсационных следов наилучших оценок нет. Их влияние на перистые облака и глобальный эффект авиационного аэрозоля на фоновую облачность остаются неизвестными. {2.6}

Антропогенные изменения в землепользовании повысили глобальное альbedo поверхности, что привело к радиационному воздействию в размере $-0,2 \pm 0,2$ Вт/м², как и в ТДО, со средне-низким уровнем научного понимания. Сажевые аэрозоли, осаживающиеся на снег, уменьшают альbedo поверхности и, по оценкам, дают радиационное воздействие $+0,1 \pm 0,1$ Вт/м², при низком уровне научного понимания. Со времени ТДО сделан ряд оценок воздействия изменений в землепользовании, с применением более совершенных методов, исключением из оценок обратной связи и улучшенным учетом крупномасштабных наблюдений. Неопределенности в оценке включают картирование и определение характеристик

нынешней растительности и ее состояния в прошлом, параметризацию процессов, определяющих приземную радиацию, и систематические ошибки модельных переменных климата. Наличие твердых сажевых частиц в снегу приводит к уменьшению альbedo снега и положительного воздействия, а также может повлиять на снеготаяние. Имеют место значительные неопределенности в отношении того, как сажа включается в снег, и в отношении конечных оптических свойств. {2.5}

Влияние изменений в землепользовании на климат, как ожидается, в некоторых регионах будет локально значительным, но в глобальном масштабе оно невелико по сравнению с потеплением из-за парниковых газов. Изменения в земной поверхности (растительность, почвы, вода) вследствие деятельности человека могут значительно повлиять на местный климат посредством сдвигов в радиации, облачности, шероховатости поверхности и приземных температурах. Изменения в растительном покрове также могут оказывать существенное влияние на энергетический и водный баланс поверхности в региональном масштабе. Эти эффекты предполагают наличие нерадиационных процессов (подразумевая, что их нельзя охарактеризовать количественно в виде радиационного воздействия), а уровень научного понимания их очень низок. {2.5, 7.2, 9.3, вставка 11.4}

Выделение тепла при антропогенной выработке энергии может быть значительным в городских районах, но в глобальном масштабе оно незначительно. {2.5}

TS.2.4 Радиационное воздействие вследствие солнечной активности и извержений вулканов

Непрерывный мониторинг общего потока солнечного излучения на единицу площади сейчас охватывает последние 28 лет. Эти данные показывают четко установленный 11-летний цикл потока излучения, который отличается от солнечного цикла на 0,08% от минимумов до максимумов, без значительного долгосрочного тренда. Новые данные более точно определили количественно изменения в солнечных спектральных потоках в широком диапазоне длин волн в связи с изменением солнечной активности. Более совершенная калибровка с применением высококачественных измерений с перекрытием также способствовала лучшему пониманию. Нынешнее понимание физики Солнца и известные источники изменчивости потока

излучения показывают сопоставимые уровни потока излучения за два последних солнечных цикла, в том числе при минимуме солнечной активности. Основная известная причина современной изменчивости потока излучения – наличие на диске Солнца пятен (компактных, темных образований, где радиация локально снижена) и факелов (расширенных ярких образований, где радиация локально повышена). {2.7}

Расчетное прямое радиационное воздействие вследствие изменений в потоке солнечного излучения с 1750 года составляет $+0,12$ [$+0,06$ - $+0,3$] Вт/м², что меньше половины оценки, данной в ТДО, при низком уровне научного понимания. Уменьшенная оценка радиационного воздействия вытекает из повторной оценки долгосрочного изменения в потоке солнечного излучения с 1610 года (минимума Маундера) на основании: новой реконструкции с использованием модели вариаций солнечного магнитного потока, которая не учитывает геомагнитные, космогенные или звездные косвенные факторы; лучшего понимания последних солнечных вариаций и их связи с физическими процессами; повторной оценки вариаций солнцеподобных звезд. Хотя это ведет к повышению уровня научного понимания - с очень низкого в ТДО до низкого в данной оценке, неопределенности остаются значительными из-за отсутствия прямых наблюдений и неполного понимания механизмов солнечной изменчивости в больших временных масштабах. {2.7, 6.6}

Сообщалось об эмпирических ассоциациях между модулированной Солнцем ионизацией атмосферы космическими лучами и глобальным средним облачным покровом низкого яруса, однако доказательства систематического косвенного солнечного эффекта остаются неоднозначными. Было выдвинуто предположение о том, что галактические космические лучи с достаточной энергией для того, чтобы достичь тропосферы, могут изменять популяцию облачных ядер конденсации и, следовательно, микрофизические свойства облаков (количество и концентрацию капель), вызывая изменения в облачных процессах, аналогично косвенному влиянию тропосферических аэрозолей на альбедо облаков, и приводя таким образом к косвенному солнечному воздействию на климат. В исследованиях изучались различные корреляции с облаками в конкретных регионах или использование ограниченных типов облаков либо ограниченных периодов времени; однако, временной ряд космических лучей, как

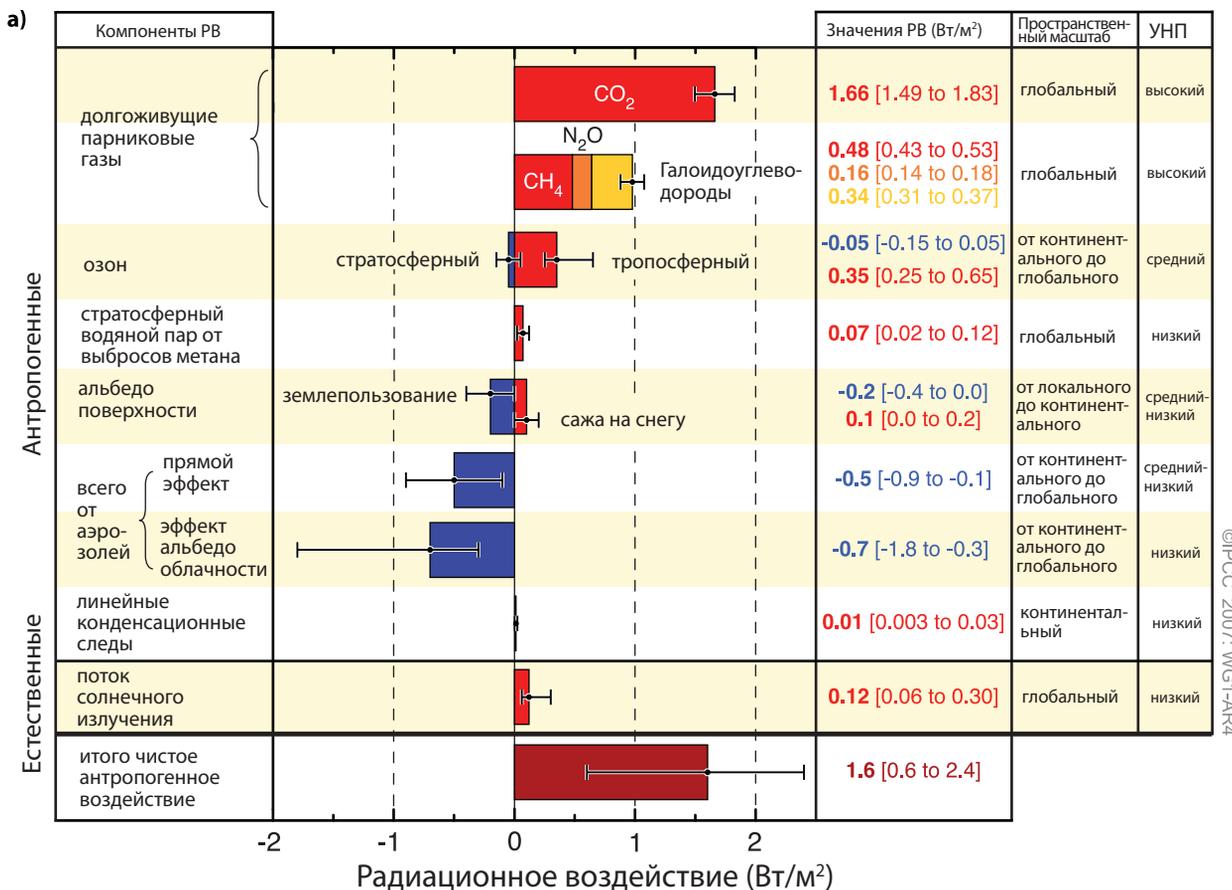
представляется, не соответствует глобальному общему облачному покрову после 1991 года или облачному покрову нижнего яруса после 1994 года. Наряду с отсутствием доказанного физического механизма и правдоподобием других причинных факторов, влияющих на изменения в облачном покрове, это делает связь между изменениями в аэрозолях, вызванными галактическими космическими лучами, и образованием облаков противоречивой. {2.7}

Взрывные извержения вулканов сильно повышают концентрацию стратосферных сульфатных аэрозолей. Единичное извержение может поэтому охладить глобальный средний климат на несколько лет. Вулканические аэрозоли эпизодически изменяют как радиационные энергетические балансы стратосферы и поверхности/тропосферы, так и климат, и многие события прошлого очевидны из наличия сульфата в ядрах льда, а также из данных измерений температуры. После извержения вулкана Пинатубо в 1991 году взрывных вулканических явлений, способных выбросить в стратосферу значительные количества материала, не было. Тем не менее, существует потенциал извержений вулканов, гораздо более сильных, чем извержение Пинатубо, которые могли бы создать более значительное радиационное воздействие и охладить климатическую систему на более длительный срок. {2.7, 6.4, 6.6, 9.2}

TS.2.5 Результирующее глобальное радиационное воздействие, потенциалы глобального потепления и характер воздействия

Понимание антропогенных нагревающих и охлаждающих воздействий на климат со времени ТДО улучшилось, что привело к очень высокой степени уверенности в том, что результатом деятельности человека с 1750 года стало чистое позитивное воздействие в размере $+1,6$ [$+0,6$ - $+2,4$] Вт/м². Более глубокое понимание и лучшая количественная оценка механизмов воздействия со времени ТДО позволяет впервые вывести совокупное чистое антропогенное радиационное воздействие. Объединение составляющих значений всех воздействующих факторов и их неопределенностей дает распределение вероятности совокупного антропогенного радиационного воздействия, показанное на рис. TS.5; наиболее вероятное значение приблизительно на порядок величины больше радиационного воздействия, оцененного по

ГЛОБАЛЬНЫЕ СРЕДНИЕ РАДИАЦИОННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ

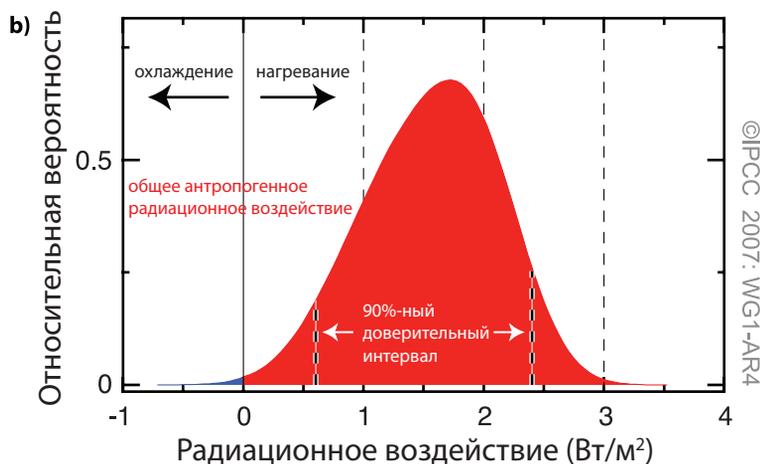


Рис. TS.5. (а) Глобальные средние радиационные воздействия (РВ) и их 90%-ные доверительные интервалы для различных факторов и механизмов, 2005 год. В графах справа указаны наилучшие оценки и доверительные интервалы (значения РВ), типичный географический охват воздействия (пространственный масштаб) и уровень научного понимания (УНП), означающий уровень научной достоверности (см. раздел 2.9). Погрешности для CH₄, N₂O и галоидоуглеводородов объединены. Показано также чистое антропогенное радиационное воздействие и его диапазон. Наилучшие оценки и области неопределенности нельзя получить простым сложением отдельных членов из-за асимметричных областей неопределенности некоторых факторов; приведенные здесь значения были получены методом Монте-Карло, описанным в разделе 2.9. Дополнительные воздействующие факторы, не указанные здесь, считаются имеющими очень низкий УНП. Вулканические аэрозоли привносят дополнительную форму естественного воздействия, но не учтены здесь из-за своего эпизодического характера. Диапазон линейных конденсационных следов не включает другие возможные влияния авиации на облачность. (b) Распределение вероятности глобального среднего совокупного радиационного воздействия всех антропогенных факторов, показанных в (а). Распределение рассчитано путем объединения наилучших оценок и неопределенностей каждого компонента. Разброс в распределении значительно увеличивается отрицательно воздействующими компонентами, неопределенности у которых больше, чем у положительных компонентов. {2.9.1, 2.9.2; рис. 2.20}

Табл. TS.2. Время жизни, радиационная эффективность и прямые (кроме CH_4) потенциалы глобального потепления (ПГП) относительно CO_2 . {Табл. 2.14}

Промышленное обозначение или общепринятое название	Химическая формула	Время жизни (лет)	Радиационная эффективность (Вт/м ² /ppb)	Глобальный потенциал потепления за данный промежуток времени ВДО†			
				(100 лет)	20 лет	100 лет	500 лет
Углекислый газ	CO ₂	См. ниже ^a	^b 1.4x10 ⁻⁵	1	1	1	1
Метан ^c	CH ₄	12 ^c	3.7x10 ⁻⁴	21	72	25	7.6
Закись азота	N ₂ O	114	3.03x10 ⁻³	310	289	298	153
Вещества, контролируемые Монреальским протоколом							
ХФУ-11	CCl ₃ F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
ХФУ-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
ХФУ-13	CClF ₃	640	0.25		10,800	14,400	16,400
ХФУ-113	CCl ₂ FCClF ₂	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
ХФУ-114	CClF ₂ CClF ₂	300	0.31		8,040	10,000	8,730
ХФУ-115	CClF ₂ CF ₃	1,700	0.18		5,310	7,370	9,990
Галон-1301	CBrF ₃	65	0.32	5,400	8,480	7,140	2,760
Галон-1211	CBrClF ₂	16	0.3		4,750	1,890	575
Галон-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	20	0.33		3,680	1,640	503
Четыреххлор.углерод	CCl ₄	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Метилбромид	CH ₃ Br	0.7	0.01		17	5	1
Трихлорэтан	CH ₃ CCl ₃	5	0.06		506	146	45
ГХФУ-22	CHClF ₂	12	0.2	1,500	5,160	1,810	549
ГХФУ-123	CHCl ₂ CF ₃	1.3	0.14	90	273	77	24
ГХФУ-124	CHClFCF ₃	5.8	0.22	470	2,070	609	185
ГХФУ-141b	CH ₃ CCl ₂ F	9.3	0.14		2,250	725	220
ГХФУ-142b	CH ₃ CClF ₂	17.9	0.2	1,800	5,490	2,310	705
ГХФУ-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	1.9	0.2		429	122	37
ГХФУ-225cb	CHClFCF ₂ CClF ₂	5.8	0.32		2,030	595	181
Гидрофторуглероды							
ГФУ-23	CHF ₃	270	0.19	11,700	12,000	14,800	12,200
ГФУ-32	CH ₂ F ₂	4.9	0.11	650	2,330	675	205
ГФУ-125	CHF ₂ CF ₃	29	0.23	2,800	6,350	3,500	1,100
ГФУ-134a	CH ₂ FCF ₃	14	0.16	1,300	3,830	1,430	435
ГФУ-143a	CH ₃ CF ₃	52	0.13	3,800	5,890	4,470	1,590
ГФУ-152a	CH ₃ CHF ₂	1.4	0.09	140	437	124	38
ГФУ-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	34.2	0.26	2,900	5,310	3,220	1,040
ГФУ-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	240	0.28	6,300	8,100	9,810	7,660
ГФУ-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7.6	0.28		3,380	1030	314
ГФУ-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	8.6	0.21		2,520	794	241
ГФУ-43-10mee	CF ₃ CHFCHFCF ₂ CF ₃	15.9	0.4	1,300	4,140	1,640	500
Перфторированные соединения							
Гексафторид серы	SF ₆	3,200	0.52	23,900	16,300	22,800	32,600
Трифторид азота	NF ₃	740	0.21		12,300	17,200	20,700
ПФУ-14	CF ₄	50,000	0.10	6,500	5,210	7,390	11,200
ПФУ-116	C ₂ F ₆	10,000	0.26	9,200	8,630	12,200	18,200

Табл. TS.2 (продолжение)

Промышленное обозначение или общепринятое название	Химическая формула	Время жизни (лет)	Радиационная эффективность (Вт/м ² /ppb)	Глобальный потенциал потепления за данный промежуток времени			
				ВДО‡ (100 лет)	20 лет	100 лет	500 лет
Перфторированные соединения (продолжение)							
ПФУ-218	C ₃ F ₈	2,600	0.26	7,000	6,310	8,830	12,500
ПФУ-318	c-C ₄ F ₈	3,200	0.32	8,700	7,310	10,300	14,700
ПФУ-3-1-10	C ₄ F ₁₀	2,600	0.33	7,000	6,330	8,860	12,500
ПФУ-4-1-12	C ₅ F ₁₂	4,100	0.41		6,510	9,160	13,300
ПФУ-5-1-14	C ₆ F ₁₄	3,200	0.49	7,400	6,600	9,300	13,300
ПФУ-9-1-18	C ₁₀ F ₁₈	>1,000 ^d	0.56		>5,500	>7,500	>9,500
trifluoromethyl sulphur pentafluoride	SF ₅ CF ₃	800	0.57		13,200	17,700	21,200
Фторированные эфиры							
ГФЭ-125	CHF ₂ OCF ₃	136	0.44		13,800	14,900	8,490
ГФЭ-134	CHF ₂ OCHF ₂	26	0.45		12,200	6,320	1,960
ГФЭ-143a	CH ₃ OCF ₃	4.3	0.27		2,630	756	230
ГХФЭ-235da2	CHF ₂ OCHClCF ₃	2.6	0.38		1,230	350	106
ГФЭ-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	5.1	0.32		2,440	708	215
ГФЭ-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃	4.9	0.31		2,280	659	200
ГФЭ-254cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	2.6	0.28		1,260	359	109
ГФЭ-347mcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃	5.2	0.34		1,980	575	175
ГФЭ-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃	7.1	0.25		1,900	580	175
ГФЭ-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂	0.33	0.93		386	110	33
ГФЭ-449sl (ГФЭ-7100)	C ₄ F ₉ OCH ₃	3.8	0.31		1,040	297	90
ГФЭ-569sf2 (ГФЭ-7200)	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	0.77	0.3		207	59	18
ГФЭ-43-10pccc124 (H-Galden 1040x)	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂	6.3	1.37		6,320	1,870	569
ГФЭ-236ca12 (HG-10)	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂	12.1	0.66		8,000	2,800	860
ГФЭ-338psc13 (HG-01)	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂	6.2	0.87		5,100	1,500	460
Перфторполиэфиры							
PFPMIE	CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ OCF ₂ OCF ₃	800	0.65		7,620	10,300	12,400
Углеводороды и другие соединения – прямые эффекты							
Диметилэфир	CH ₃ OCH ₃	0.015	0.02		1	1	<<1
Метиленхлорид	CH ₂ Cl ₂	0.38	0.03		31	8.7	2.7
Метилхлорид	CH ₃ Cl	1.0	0.01		45	13	4

Примечания:

‡ ВДО обозначает Второй доклад МГЭИК об оценках (1995 г.), использованный для отчетности по РКИК.

^a Функция отклика CO₂, используемая в этом докладе, построена на пересмотренном варианте Бернской модели углеродного цикла, используемой в главе 10 доклада (Bern2.5CC; Joos et al. 2001), где применяется базовое значение концентрации CO₂ = 378 ppm. Затухание импульса CO₂ за время t выражается формулой

$$a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i \cdot e^{-t/\tau_i}$$

где a₀ = 0,217, a₁ = 0,259, a₂ = 0,338, a₃ = 0,186, τ₁ = 172,9 года, τ₂ = 18,51 года, τ₃ = 1,186 года, для t < 1000 лет.

^b Радиационная эффективность CO₂ рассчитана по упрощенному выражению, предложенному МГЭИК (1990 г.) и пересмотренному в ТДО, с приведенным базовым значением концентрации 378 ppm и возмущением +1 ppm (см. раздел 2.10.2).

^c Время жизни возмущения для CH₄ - 12 лет, как в ТДО (см. также раздел 7.4). ПГП для CH₄ включает косвенные эффекты повышения концентрации озона и стратосферного водяного пара (см. раздел 2.10).

^d Предполагаемое время жизни 1000 лет – нижний предел.

изменениям в освещенности солнечного излучения. Поскольку диапазон оценки равен $+0,6 - +2,4 \text{ Вт/м}^2$, то существует очень высокая степень уверенности в чистом положительном радиационном воздействии на климатическую систему вследствие деятельности человека. ДЖПГ, вместе взятые, вызывают воздействие $+2,63 \pm 0,26 \text{ Вт/м}^2$, что является доминирующим компонентом радиационного воздействия и имеет наивысший уровень научного понимания. Суммарное прямое влияние аэрозолей, влияние на альbedo облаков и на альbedo поверхности, которые способствуют отрицательным воздействиям, не так хорошо поняты и отличаются более значительной неопределенностью. Диапазон чистой оценки увеличивается отрицательно воздействующими компонентами, неопределенности которых больше, чем у положительных компонентов. Характер неопределенности расчетного влияния на альbedo облаков вводит в распределение заметную асимметрию. Неопределенности в распределении включают структурные аспекты (например, представление экстремумов в составляющих значениях, возможность наличия неучтенных, но еще не определенных количественно радиационных воздействий) и статистические аспекты (например, предположения о типах распределений, описывающих неопределенности компонентов). {2.7, 2.9}

Потенциал глобального потепления (ППП) – полезный показатель для сравнения потенциального влияния выбросов разных ДЖПГ на климат (см. табл. TS.2). Потенциалы глобального потепления позволяют сравнить комплексное радиационное воздействие за заданный период (например, 100 лет) импульсного выброса единичной массы и являются методом сравнения потенциальных изменений климата, связанных с выбросами различных парниковых газов. В концепции ППП есть четко зафиксированные недостатки, особенно в части использования ее для оценки влияния короткоживущих видов. {2.10}

Для рассматриваемого порядка величины и диапазона реалистичных воздействий есть доказательства приблизительно линейной зависимости между глобальным средним радиационным воздействием и реакцией глобальной средней приземной температуры. Пространственный характер радиационного воздействия зависит от конкретного воздействующего компонента, однако пространственный рисунок реакции климата, по оценкам, вряд ли будет совпадать с пространственным рисунком воздействия.

Пространственная структура реакции климата в значительной степени регулируется климатическими процессами и обратными связями. Например, обратные связи между морским льдом и альbedo обычно усиливают реакцию в высоких широтах. На пространственную структуру реакции влияют также различия в тепловой инерции между сушей и морем. {2.8, 9.2}

Характер реакции на радиационное воздействие может существенно меняться, если его структура благоприятствует влиянию на конкретный аспект атмосферной структуры или циркуляции. Модельные исследования и сравнение данных показывают, что на среднеширотные и высокоширотные типы циркуляции, вероятно, влияют некоторые воздействия, такие как извержения вулканов, которые связаны с изменениями в Северном кольцевом режиме (СКР) и Северо-Атлантическом колебании (САК) (см. раздел 3.1 и вставку TS.2). Модели также показывают, что поглощающие аэрозоли, особенно сажа, могут уменьшать солнечную радиацию, достигающую земной поверхности, и нагревать атмосферу в региональном масштабе, влияя на вертикальный профиль температуры и крупномасштабную атмосферную циркуляцию. {2.8, 7.5, 9.2}

Пространственная структура радиационных воздействий для озона, прямых эффектов аэрозолей, взаимодействия аэрозолей с облаками и землепользования отличается значительными неопределенностями. Это контрастирует с относительно высокой степенью уверенности в пространственной структуре радиационного воздействия ДЖПГ. Чистое положительное радиационное воздействие в южном полушарии, весьма вероятно, превышает воздействие в северном полушарии из-за меньших концентраций аэрозолей в южном полушарии. {2.9}

TS 2.6 Приземное воздействие и гидрологический цикл

Наблюдения и модели показывают, что изменения в радиационном потоке у поверхности Земли влияют на приземный баланс тепла и влаги, затрагивая таким образом гидрологический цикл. Последние исследования показывают, что некоторые воздействующие факторы могут влиять на гидрологический цикл не так, как другие, через свое взаимодействие с облаками. В частности, изменения концентрации аэрозолей, возможно, повлияли на осадки и другие аспекты

гидрологического цикла сильнее, чем другие антропогенные воздействующие факторы. Энергия, осаждающаяся на земную поверхность, прямо влияет на испарение и перенос активного тепла. Мгновенное изменение радиационного потока у поверхности (далее – «приземное воздействие») – полезное диагностическое средство для понимания изменений в приземных балансах тепла и влаги и соответствующего изменения климата. Однако, в отличие от радиационного воздействия, с его помощью нельзя количественно сравнить влияния разных факторов на изменение равновесной глобальной средней приземной температуры. Чистое радиационное воздействие и поверхностное воздействие имеют разные градиенты экватор-полюс в северном полушарии, а также отличаются друг от друга в северном и южном полушариях. {2.9, 7.2, 7.5, 9.5}

TS.3 Наблюдения за изменениями климата

В данном докладе оцениваются изменения в климатической системе Земли, учитывая не только атмосферу, но и океан и криосферу, а также такие явления, как изменения атмосферной циркуляции, с целью расширения понимания тенденций, изменчивости и процессов изменения климата в глобальном и региональном масштабах. Ряды наблюдений с использованием прямых методов имеют разную продолжительность, причем оценки глобальной температуры сейчас начинаются уже с 1850 года. Анализируются также наблюдения за экстремальными метеорологическими явлениями и климатом, и описываются наблюдаемые изменения в экстремальных явлениях. Описывается также согласованность наблюдаемых изменений разных переменных климата, которая позволяет строить все более полную картину. Наконец, оценивается палеоклиматическая информация, которая позволяет, с использованием косвенных свидетельств, сделать выводы об изменениях климата в более долгосрочных временных масштабах (до миллионов лет).

TS.3.1 Атмосферные изменения: инструментальные наблюдения

Данная оценка включает анализ глобальных данных и данных по полушариям, изменений над сушей и океаном, распределения трендов по

широте, долготе и высоте. Со времени публикации ТДО сделаны усовершенствования в наблюдениях и их калибровке, проведен более подробный анализ методов и расширенных временных рядов, что позволяет гораздо глубже анализировать изменения, включая атмосферную температуру, осадки, влажность, ветер и циркуляцию. Экстремальные климатические явления – ключевое выражение изменчивости климата, и данная оценка включает новые данные, которые позволяют более глубоко проникнуть в суть изменений во многих видах экстремальных явлений, включая волны тепла, засуху, сильные осадки и тропические циклоны (в т.ч. ураганы и тайфуны). {3.2–3.4, 3.8}

Кроме того, со времени ТДО сделаны шаги вперед в понимании того, как ряд сезонных и долгосрочных аномалий можно объяснить характером изменчивости климата. Этот характер вытекает из внутренних взаимодействий и из дифференциальных влияний на атмосферу над сушей и океаном, горными районами и значительных изменений в нагревании. Их реакция часто ощущается в регионах, далеко отстоящих от их физического источника, через атмосферные связи, обеспечиваемые крупномасштабными волнами в атмосфере. Понимание температурных аномалий и аномалий осадков, связанных с доминирующим характером изменчивости климата, существенно необходимо для понимания многих региональных аномалий и того, почему они могут отличаться от аномалий глобального масштаба. Изменения в траекториях циклонов, струйных течениях, регионах преимущественного расположения блокирующих антициклонов, изменения в муссонах – все это может происходить в связи с этими преимущественными режимами изменчивости. {3.5–3.7}

TS.3.1.1 Глобальные средние температуры

2005 и 1998 годы были самыми теплыми годами в ряду данных наблюдений глобальной приземной температуры воздуха начиная с 1850 года. Приземные температуры в 1998 году повысились за счет крупного явления Эль-Ниньо в 1997-1998 годах, но в 2005 году такой сильной аномалии не было. Одиннадцать из последних 12 лет (1995-2006 годы) – за исключением 1996 года – входят в число 12 самых теплых лет из зарегистрированных с 1850 года. {3.2}

Глобальная средняя приземная температура повысилась, особенно начиная с 1950 года. Вследствие дополнительных теплых лет обновленный 100-летний тренд (1906–2005 годы),

равный $0,74^{\circ}\text{C} \pm 0,18^{\circ}\text{C}$, превышает 100-летний тренд потепления, отмеченный на момент выпуска ТДО (1901–2000 годы), равный $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Общее повышение температуры с 1850-1899 годов до 2001-2005 годов составляет $0,76^{\circ}\text{C} \pm 0,19^{\circ}\text{C}$. Темпы потепления, усредненные за последние 50 лет ($0,13^{\circ}\text{C} \pm 0,03^{\circ}\text{C}$ за десятилетие), почти вдвое выше, чем за последние 100 лет). Все три разных глобальных оценки показывают согласованные тренды потепления. Наблюдается также согласованность между комплектами данных по отдельным сухопутным и океанским территориям, а также между температурой поверхности моря (ТПМ) и ночной температурой морского воздуха (см. рис. TS.6). {3.2}

Последние исследования подтверждают, что влияния урбанизации и изменений в землепользовании на глобальную температуру ничтожно малы (менее $0,006^{\circ}\text{C}$ за десятилетие над сушей и нуль над океаном), если говорить о средних величинах по полушариям и континентам. Все наблюдения необходимо проверять на предмет качества данных и согласованности, чтобы устранить возможные систематические ошибки. Реальные, но локальные эффекты городских зон учитываются в используемых комплектах данных о температуре на суше. Эффекты урбанизации и землепользования не играют роли для широкомасштабного океанического потепления, которое очевидно из наблюдений. Появляется все больше свидетельств того, что эффекты городских островов тепла также влияют на осадки, облачность и диапазон суточных температур (ДСТ). {3.2}

Глобальный средний ДСТ прекратил уменьшаться. В ТДО было отмечено уменьшение ДСТ в период 1950-1993 гг. приблизительно на $0,1^{\circ}\text{C}$ за десятилетие. Обновленные наблюдения показывают, что ДСТ не изменился с 1979 до 2004 года, так как и дневная, и ночная температура повышалась с одинаковой скоростью. Тренды отличаются крайней изменчивостью от региона к региону. {3.2}

Новый анализ результатов радиозондовых и спутниковых измерений температуры нижних и средних слоев тропосферы демонстрирует темпы потепления, которые в общем согласуются друг с другом и с темпами повышения приземной температуры в пределах своих соответственных неопределенностей за периоды 1958-2005 годы и 1979-2005 годы. Это в значительной мере устраняет противоречие, отмеченное в ТДО (см. рис. TS.7).

Ряды радиозондовых измерений отличаются заметно меньшей пространственной полнотой, в отличие от данных о приземной температуре, и появляется все больше доказательств того, что ряд комплектов радиозондовых данных недостоверны, особенно в тропиках. Остаются несоответствия между разными трендами тропосферных температур, оцененными с помощью спутникового оборудования микроволнового зондирования (МСЮ) и усовершенствованного микроволнового зондирования начиная с 1979 года, причем все они, вероятно, всеещесодержат остаточные погрешности. При этом, однако, со времени ТДО оценки трендов существенно улучшились, а различия между комплектами данных уменьшились, благодаря поправкам на смену спутников, уменьшение высоты орбиты и дрейф в местном времени пересечения экватора (эффекты суточного цикла). Оказывается, что результаты спутниковых измерений тропосферной температуры в значительной мере согласуются с трендами приземной температуры, при условии, что учитывается влияние стратосферы на канал 2 МСЮ. Диапазон по разным комплектам данных о глобальном приземном потеплении с 1979 года составляет $0,16^{\circ}\text{C} - 0,18^{\circ}\text{C}$ за десятилетие, по сравнению с $0,12^{\circ}\text{C} - 0,19^{\circ}\text{C}$ за десятилетие для полученных с МСЮ оценок тропосферной температуры. Вероятно, в тропиках имеет место повышенное потепление с возрастанием высоты от земной поверхности до большей части тропосферы, явно выраженное похолодание в стратосфере и тренд в направлении более высокой тропопаузы. {3.4}

Все оценки стратосферной температуры, полученные с усовершенствованных радиозондов, спутников и в результате повторного анализа качественно согласуются между собой, при этом с 1979 года наблюдается похолодание на $0,3^{\circ}\text{C} - 0,6^{\circ}\text{C}$ за десятилетие (см. рис. TS.7). Более продолжительные ряды радиозондовых измерений (начиная с 1958 года) также показывают стратосферное похолодание, но для них характерны значительные инструментальные погрешности. Темпы похолодания повысились с 1979 года, но в последнее десятилетие замедлились. Вероятно, что радиозондовые измерения переоценивают стратосферное похолодание из-за еще не учтенных изменений в зондах. Тренды не монотонны, вследствие эпизодов стратосферного потепления, которые следуют за крупными извержениями вулканов. {3.4}

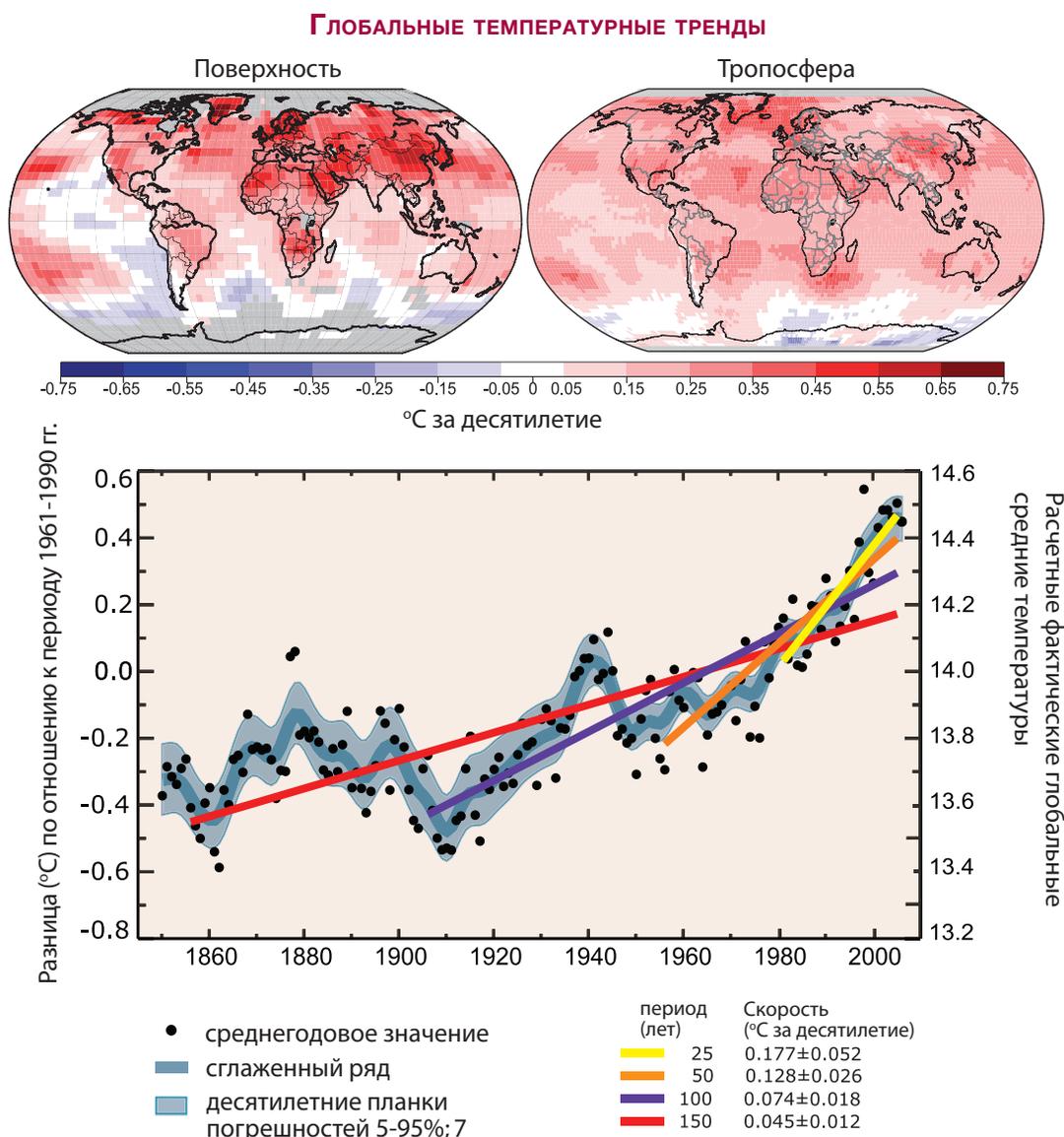


Рис. TS.6. (Вверху) Характер линейных глобальных температурных трендов за период 1979-2005 гг., оцененных у поверхности (слева) и со спутников в тропосфере (справа). Серым цветом выделены участки с неполными данными. (Внизу) Среднегодовые глобальные температуры (черные точки) с подбором прямой по данным. На левой оси показаны температурные аномалии относительно среднего за 1961-1990 гг., а на правой – оценки фактических температур (все значения даны в °C). Линейные тренды показаны за последние 25 (желтый), 50 (оранжевый), 100 (фиолетовый) и 150 (красный) лет. Сглаженная синяя кривая показывает десятилетние вариации (см. Приложение 3.А), с десятилетним 90%-ным интервалом погрешности, показанным бледно-голубой полосой над этой линией. Общее повышение температуры с 1850-1899 по 2001-2005 гг. составляет $0,76^{\circ}\text{C} \pm 0,19^{\circ}\text{C}$. {ЧЗВ 3.1, рис. 1.}

TS.3.1.2 Пространственное распределение изменений температуры, циркуляции и соответствующих переменных

В обоих полушариях приземные температуры над сухопутными регионами повышались более высокими темпами, чем над океанами. Более длительные ряды наблюдений, доступные сейчас, показывают значительно более высокие темпы потепления над сушей, чем над океаном, в последние

два десятилетия (около $0,27^{\circ}\text{C}$ против $0,13^{\circ}\text{C}$ за десятилетие). {3.2}

Потепление в последние 30 лет распространилось по всему земному шару, причем наиболее сильно оно выражается в высоких северных широтах. Самое сильное потепление имеет место в северном полушарии зимой (декабрь-февраль) и весной (март-май). Средние арктические температуры в последние 100 лет растут со скоростью, почти вдвое большей, чем в остальных частях света. При этом,

однако, арктические температуры крайне изменчивы. С 1925 по 1945 год в Арктике наблюдался несколько более долгий теплый период, почти такой же теплый, как нынешний, однако его географический охват, как представляется, отличается от недавнего потепления, поскольку его масштабы не были глобальными. {3.2}

Есть доказательства долгосрочных изменений в крупномасштабной атмосферной циркуляции, например, сдвиг к полюсам и усиление западных ветров. Региональные климатические тренды могут сильно отличаться от глобального среднего, отражая изменения в циркуляциях и взаимодействиях атмосферы и океана и других компонентов климатической системы. Более сильные максимумы западных ветров в средних широтах наблюдались в обоих полушариях в большинстве времен года по крайней мере с 1979 года до конца 1990-х годов, и были зарегистрированы смещения к полюсам соответствующих атлантических и южных полярных фронтальных струйных течений. Сила западных ветров в северном полушарии увеличилась в 1990-х годах по сравнению с 1960-ми, но потом снизилась до значений, близких к долгопериодному среднему. Возросшая сила западных ветров в северном полушарии изменяет поток тепла от океанов к континентам, являясь одним из основных факторов наблюдаемых зимних изменений в траекториях циклонов и в соответствующем характере трендов осадков и температуры в средних и высоких широтах. Анализ ветров и показательной высоты волны подтверждают основанные на повторном анализе доказательства изменений, происходящих во внетропических штормах в северном полушарии с начала повторного анализа (конец 1970-х гг.) до конца 1990-х гг. Эти изменения сопровождаются тенденцией к усилению зимних полярных вихрей во всей тропосфере и нижних слоях стратосферы. {3.2, 3.5}

Многие региональные изменения климата можно описать при помощи преимущественных режимов изменчивости климата и, следовательно, как изменения в распространенности показателей, которые характеризуют силу и фазу этих режимов. Часто отмечалась важность флуктуаций западных ветров и траекторий циклонов в Северной

НАБЛЮДАЕМЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

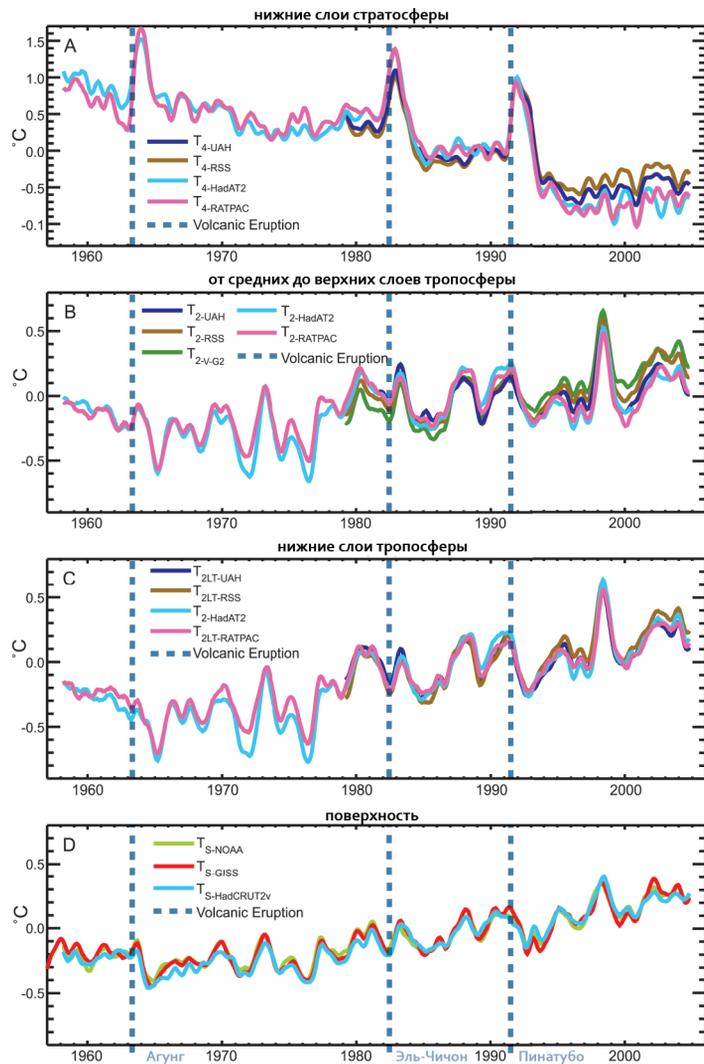


Рис. TS.7. Наблюдаемые приземные температуры (D) и температуры на высотах - в нижних слоях тропосферы (C), в средних и верхних слоях тропосферы (B), в нижних слоях стратосферы (A), показанные как среднемесячные аномалии относительно периода 1979-1997 годы, сглаженные с помощью фильтра семимесячного скользящего среднего. Прерывистые линии обозначают моменты крупных извержений вулканов. {Рис. 3.17}

Атлантике во всех временных масштабах, и эти флуктуации описаны как САК (пояснение этого и других преимущественных режимов см. во вставке TS.2). Характеристики флуктуаций зонально усредненных ветров в двух полушариях в последнее время описываются соответствующими «кольцевыми режимами», Северным и Южным кольцевыми режимами (СКР и ЮКР). Наблюдаемые изменения можно выразить как сдвиг циркуляции в направлении структуры, связанной с одним знаком этих преимущественных режимов. Усилившиеся западные ветры в средних

Вставка TS.2: Режимы (виды) изменчивости климата

Анализ атмосферной и климатической изменчивости показал, что значительный компонент ее может быть описан как флуктуации амплитуды и знака показателей относительно небольшого числа преимущественных режимов изменчивости. Вот некоторые из наиболее известных:

- Эль-Ниньо - Южное колебание (ЭНКО), сопряженная флуктуация в атмосфере и экваториальной части Тихого океана, с преимущественными временными масштабами от 2 до 7 лет. ЭНКО часто измеряют разницей аномалий приземного давления между Таити и Дарвином, а также значениями ТПМ в центральной и восточной экваториальных частях Тихого океана. ЭНКО имеет глобальные дальние корреляционные связи.
- Северо-Атлантическое колебание (САК), мера силы исландского минимума и азорского максимума, а также западных ветров между ними, в основном зимой. САК связывает флуктуации в траекториях циклонов, температуре и осадках из Северной Атлантики в Евразию (см. вставку TS.2, рис 1).
- Северный кольцевой режим (СКР), зимняя флуктуация в амплитуде режима, характеризуемого низким приземным давлением в Арктике и сильными среднеширотными западными ветрами. СКР имеет связи с северным полярным вихрем и, следовательно, со стратосферой.
- Южный кольцевой режим (ЮКР), флуктуация режима, характеризуемого низким антарктическим приземным давлением и сильными среднеширотными западными ветрами, аналогичное СКР, но присутствующее круглый год.
- Тихоокеанско-Североамериканский (ТСА) режим, атмосферный крупномасштабный волновой режим, включающий последовательность тропосферных аномалий высокого и низкого давления, простирающийся с субтропической западной части Тихого океана до восточного берега Северной Америки.
- Тихоокеанское десятилетнее колебание (ТДК), мера ТМП в северной части Тихого океана, очень сильно взаимосвязанная с Северным тихоокеанским индексом (СТИ), мерой глубины алеутского минимума. Ее признаки, однако, присутствуют в большей части Тихого океана.

Степень, в которой все эти преимущественные режимы изменчивости могут считаться истинными видами климатической системы, является темой активных исследований. Есть, однако, доказательства того, что их существование может привести к региональным реакциям на воздействие, имеющим большую амплитуду, чем ожидалось бы в противном случае. В частности, количество наблюдаемых в 20 веке изменений климата можно рассматривать исходя из изменений в этих режимах. Поэтому важно проверить способность компьютерных моделей климата имитировать эти преимущественные режимы (см. раздел TS.4, вставка TS.7) и учесть степень, до которой наблюдаемые изменения, связанные с режимами изменчивости, зависят от внутренней изменчивости или от антропогенного изменения климата. {3.6, 8.4}

Положительная фаза САК и СКР



Вставка TS.2, Рис. 1. Схема изменений, связанных с положительной фазой САК и СКР. Показаны изменения давления и ветров, а также изменения количества осадков. Теплыми тонами показаны участки, которые теплее обычного, а голубым цветом – участки, которые холоднее обычного.

широтах Северной Атлантики можно считать в значительной степени отражающими изменения в САК или СКР; внутривековая изменчивость очевидна также в Атлантике, как в атмосфере, так и в океане. В северном полушарии изменения в циркуляции, связанные с усилением ЮКР, с 1960-х годов до настоящего времени связаны с сильным потеплением над Антарктическим полуостровом и, в меньшей степени, с похолоданием над районами континентальной Антарктики. Наблюдаются также изменения во взаимодействиях «океан-атмосфера» в Тихом океане. ЭНСО – доминирующий режим изменчивости глобального масштаба в межгодовых временных масштабах, хотя временами он не столь очевиден. Климатический сдвиг 1976-1977 годов, связанный с изменением фазы Тихоокеанского десятилетнего колебания (ТДК) в направлении большего числа событий Эль-Ниньо и изменений в эволюции ЭНСО, затронул многие районы, в том числе большинство тропических муссонов. Например, над Северной Америкой ЭНСО и Тихоокеанско-Североамериканские (ТСА) изменения, обусловленные дальними корреляционными связями, как представляется, привели к контрастирующим изменениям по всему континенту, так как западная часть нагрелась больше, чем восточная, тогда как в восточной повысилась облачность и влажность. В тихоокеанском регионе в XX веке наблюдается значительная низкочастотная атмосферная изменчивость, с длительными периодами более слабой (1900–1924 гг.; 1947–1976 гг.) и усиленной (1925–1946 гг.; 1977–2003 гг.) циркуляции. {3.2, 3.5, 3.6}

Изменения в экстремумах температуры согласуются с потеплением. Наблюдения показывают повсеместное уменьшение количества морозных дней в среднеширотных регионах, увеличение числа теплых экстремумов (самых теплых 10% дней или ночей) и уменьшение числа дневных холодных экстремумов (самых холодных 10% дней или ночей) (см. вставку TS.5). Наиболее заметные изменения – в числе холодных ночей, которое за 1951-2003 гг. уменьшилось во всех регионах, где имеются данные (76% суши). {3.8}

Длительность волн тепла увеличилась, начиная со второй половины XX века. Рекордная жара в западной и центральной Европе летом 2003 года – пример исключительного недавнего экстремума. Это лето (ИИА) стало самым теплым с начала сопоставимых инструментальных наблюдений, около 1780 года (на 1,4°C выше предыдущего

АТМОСФЕРНЫЙ ВОДЯНОЙ ПАР

а) Водяной пар в вертикальном столбе, только океан, тренд, 1988-2004

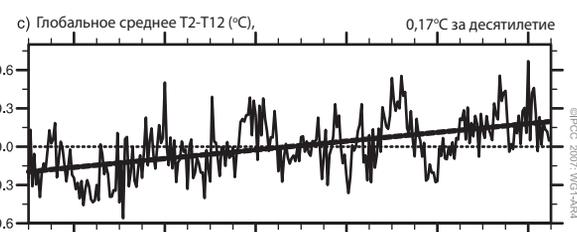
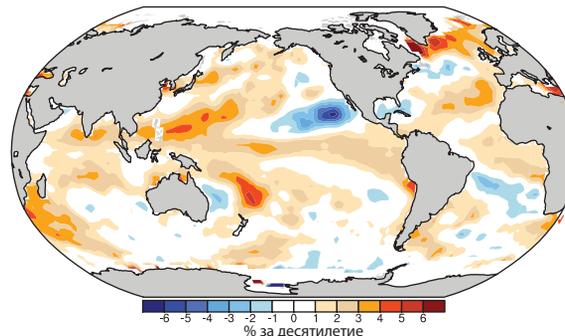


Рис. TS.8. (а) Линейные тренды в осаждаемой воде (общем объеме водяного пара в вертикальном столбе) за период 1988-2004 годы (% за десятилетие); (б) месячный временной ряд аномалий относительно показанного периода над глобальным океаном с линейным трендом; (с) глобальные средние (80° с.ш. - 80° ю.ш.) радиационные свойства верхнетропосферного увлажнения задается месячным временным рядом комбинаций спутниковых аномалий яркостных температур (°C), относительно периода 1982-2004 годы, при этом пунктиром показан линейный тренд основной яркостной температуры (°C за десятилетие). {3.4, рис. 3.20 и 3.21}

рекорда теплоты 1807 года). Весеннее высыхание земной поверхности в Европе стало важным фактором наступления экстремальных температур в 2003 году. Свидетельства говорят о том, что частота и продолжительность волн тепла увеличились и в других регионах. Очень сильная зависимость между наблюдаемой засухливостью и высокими температурами над сушей в тропиках в летний период подчеркивает важную роль, которую играет влага в изменении климата. {3.8, 3.9}

Нет достаточных доказательств, которые позволили бы определить, существуют ли тренды в таких явлениях, как торнадо, град, молнии и пыльные бури, которые происходят в малых пространственных масштабах. {3.8}

TS.3.1.3 Изменения в круговороте воды: водяной пар, облака, осадки, тропические бури

Содержание водяного пара в тропосфере повышается (рис. TS.8). Поверхностная удельная влажность с 1976 года в общем повысилась в тесной связи с более высокими температурами как над сушей, так и над океаном. Общее содержание водяного пара в вертикальном столбе повысилось над глобальными океанами за 1988-2004 годы на $1,2 \pm 0,3\%$ в расчете на десятилетие (доверительные интервалы 95%). Наблюдаемые региональные изменения по характеру и объему соответствуют изменениям ТПМ и предположению о почти постоянном повышении отношения смеси водяного пара. Наличие дополнительного количества водяного пара в атмосфере означает наличие большего количества влаги для осадков. {3.4}

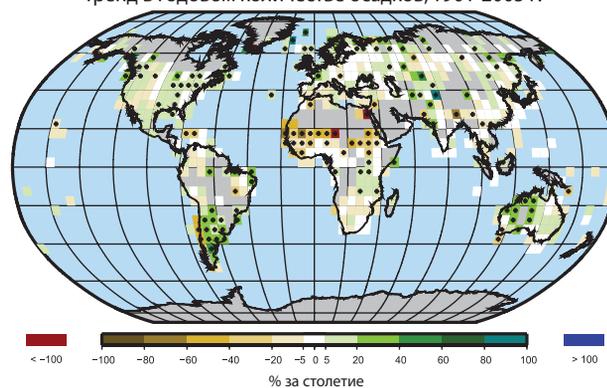
Содержание верхнетропосферного водяного пара тоже повышается. Из-за инструментальных ограничений трудно оценить долговременные изменения в содержании водяного пара в верхних слоях тропосферы, где он имеет радиационное значение. Тем не менее, имеющиеся данные подтверждают глобальное повышение верхнетропосферной удельной влажности за последние два десятилетия (рис. TS.8). Эти наблюдения согласуются с наблюдаемым повышением температур и представляют собой важное достижение по сравнению с ТДО. {3.4}

Изменения облачности определяются ЭНСО. Масштабные (но не повсеместные) уменьшения континентальных ДСТ совпали с повышением количества облаков. Приземные и спутниковые наблюдения расходятся в оценке изменений общей и нижнеярусной облачности над океаном. Однако изменения радиации в верхней части атмосферы с 1980-х до 1990-х годов (возможно, частично связанные с явлением ЭНСО) связаны, как представляется, с уменьшением тропического облачного покрова верхнего яруса и согласуются с изменениями в энергетическом балансе и в наблюдаемой теплоемкости океана. {3.4}

«Глобальное потускнение» не является глобальным по масштабу и после 1990 года не продолжалось. Зарегистрированное в 1970-1990 годах снижение солнечной радиации у поверхности Земли имеет городской характер. В районе 1990 года наблюдалось повышение. Повышение аэрозольной нагрузки вследствие деятельности человека ухудшает качество регионального воздуха и снижает количество солнечного излучения, достигающего поверхности Земли. В некоторых районах, таких

ГЛОБАЛЬНОЕ СРЕДНЕЕ КОЛИЧЕСТВО ОСАДКОВ

Тренд в годовом количестве осадков, 1901-2005 г.



Тренд в годовом количестве осадков, 1979-2005 г.

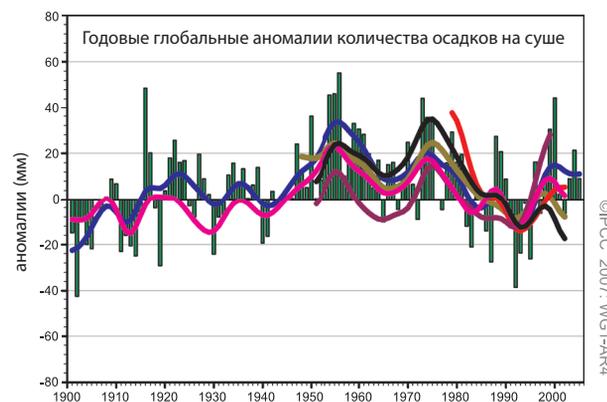
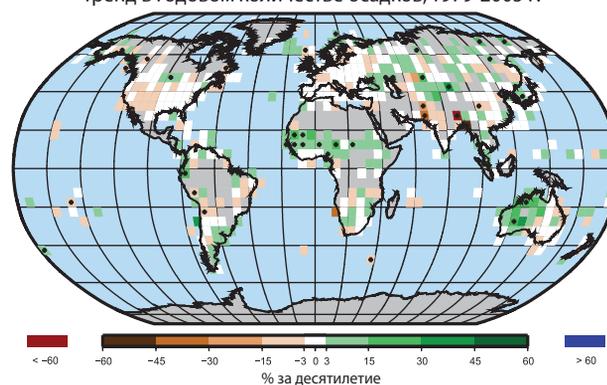


Рис. TS.9. (Вверху) Распределение линейных трендов годового количества осадков на суше за период 1901-2005 годы (% за столетие) и (в середине) за 1979-2005 годы (% за десятилетие). Серые участки – это участки, где недостаточно данных для получения достоверных трендов. Процентные значения основаны на периоде 1961-1990 годы (Внизу) Временной ряд годовых глобальных аномалий количества осадков на суше за 1990-2005 гг. по отношению к периоду 1961-1990 годы. Сглаженные кривые показывают десятилетние вариации (см. Приложение 3.А) различных комплектов данных. {3.3, рис. 3.12 и 3.13}

как Восточная Европа, недавние наблюдения изменения знака этого эффекта позволяют связать изменения солнечного излучения с одновременным повышением качества воздуха. {3.4}

Тренды годового количества осадков

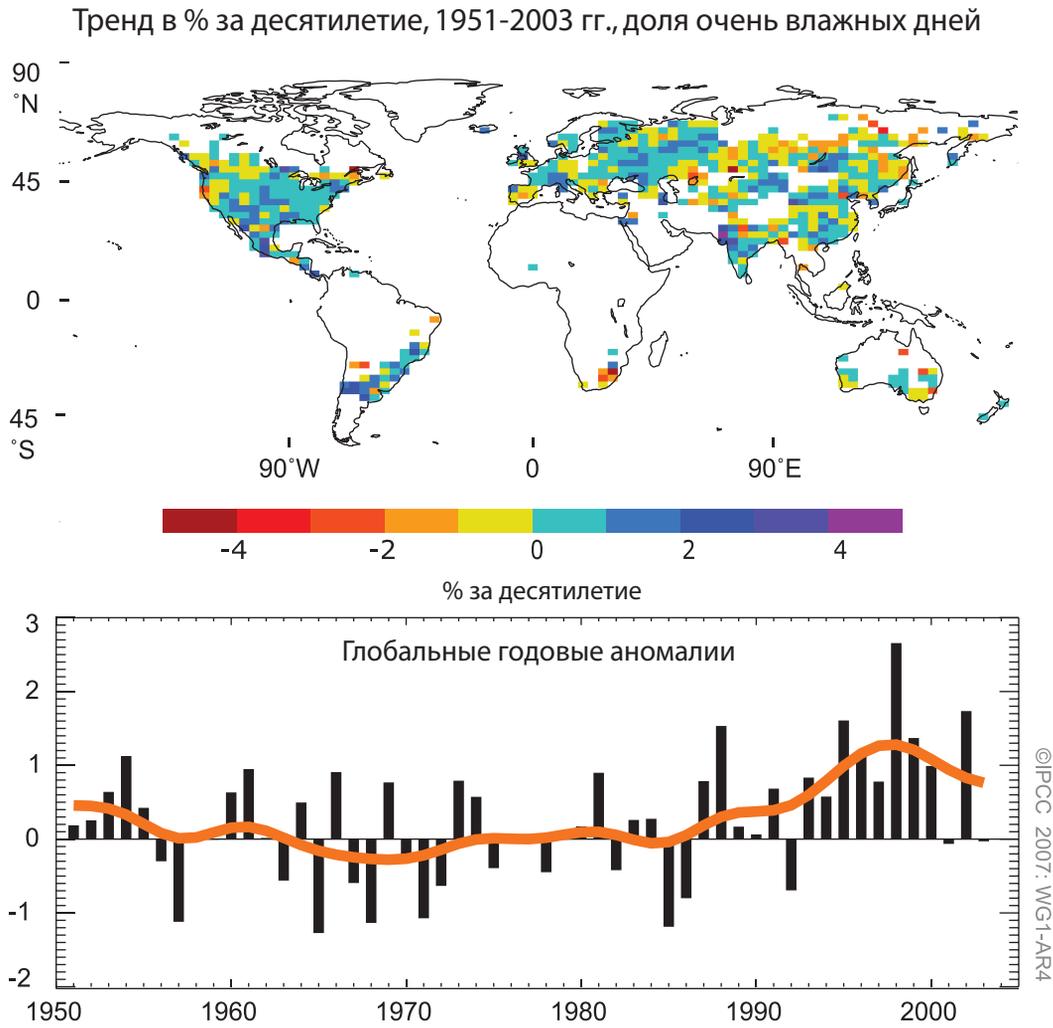


Рис. TS.10. (Вверху) Наблюдаемые тренды (% за десятилетие), за период 1951-2003 гг., доли очень влажных дней (т.е. соответствующих 95-му процентилю и выше) в общем годовом количестве осадков. Белые участки – это участки суши, для которых нет достаточных данных для определения трендов. (Внизу). Аномалии (%) глобальных (регионов с данными, показанными на верхней панели) годовых временных рядов очень влажных дней (по отношению к 1961-1990 гг.), определенные как процентное изменение от среднего за базовый период (22,5%). Сглаженная оранжевая кривая показывает десятилетние изменения (см. Приложение 3.А). {Рис. 3.39}

Годовые аномалии температуры поверхности моря

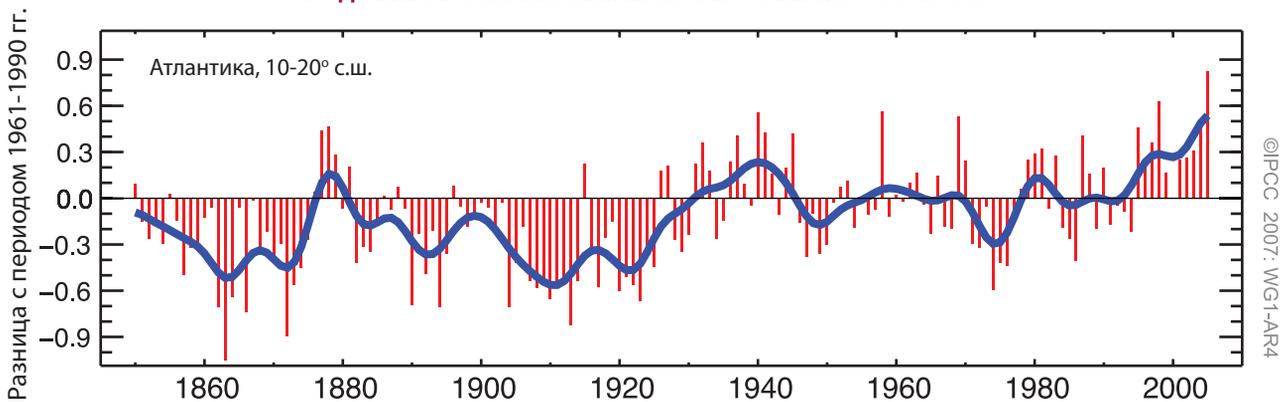


Рис. TS.11. Годовые аномалии температуры поверхности моря в тропической части Атлантики (10° с.ш. – 20° с.ш.) (°C), в регионе формирования атлантических ураганов, относительно среднего за период 1961-1990 гг.. {Рис. 3.33}

Долгосрочные тренды количества осадков с 1990 по 2005 гг. наблюдались во многих больших регионах (рис. TS.9). Существенно возросшее количество осадков наблюдалось в восточных частях Северной и Южной Америки, северной части Европы, северной и центральной частях Азии. Засушливость наблюдалась в Сахеле, Средиземноморье, южной Африке и частях южной Азии. Количество осадков сильно различается в пространственном и временном отношении, и для других больших регионов устойчивых долгосрочных трендов не выявлено.⁵ {3.3}

Наблюдалось значительное увеличение случаев сильных осадков. Вероятно, с 1950 года увеличилось число случаев сильных осадков (например, выше 95-го перцентиля) на многих участках суши, даже в тех регионах, где отмечалось уменьшение общего количества осадков. Зарегистрировано также увеличение количества более редких случаев осадков (за период повторяемости 50 лет 1 случай), однако лишь в нескольких регионах есть достаточные данные для достоверной оценки таких трендов (см. рис. TS.10). {3.8}

Данные наблюдений подтверждают рост интенсивной тропической циклонической активности в Северной Атлантике приблизительно с 1970 года, связанный с повышением тропической ТПМ. Есть также признаки повышенной интенсивной тропической циклонической активности в некоторых других регионах, где проблемы с качеством данных острее. Внутривековая изменчивость и качество данных о тропических циклонах, полученных до начала постоянных спутниковых наблюдений в 1970 году, усложняют выявление долгосрочных трендов в тропической циклонической активности, и явного тренда в годовом количестве тропических циклонов нет. Оценки потенциального разрушающего действия тропических циклонов показывают значительную тенденцию к повышению с середины 1970-х годов, с тенденцией к увеличению продолжительности и интенсивности. Тренды также очевидны в ТПМ, критической переменной, которая, как известно, влияет на развитие тропических циклонов (см. рис. TS.11). Вариации в общем количестве тропических циклонов происходят из ЭНСО и десятилетней изменчивости, что приводит также к перераспределению количества и траекторий тропических циклонов. Количество ураганов в Северной Атлантике в девяти годах из периода

1995-2005 гг. превысило норму (взятую за период 1981-2000 гг.).

С 1970-х годов наблюдаются более интенсивные и длительные засухи в более обширных районах, особенно в тропиках и субтропиках. Хотя есть много разных показателей засухи, во многих исследованиях используется изменение количества осадков вместе с температурой.⁶ Этим изменениям способствовала повышенная засушливость вследствие более высоких температур и уменьшения количества осадков на суше. {3.3}

TS.3.2 Изменения в криосфере: инструментальные наблюдения

В настоящее время льдом постоянно покрыто 10% поверхности суши, и лишь крошечная часть его находится вне Антарктиды и Гренландии. Льдом также в среднем в год покрыто приблизительно 7% океанов. В середине зимы снегом покрыто приблизительно 49% поверхности суши в северном полушарии. Важное свойство снега и льда – высокое альbedo поверхности. Поскольку 90% падающего солнечного излучения отражается поверхностью снега и льда, и лишь 10% отражается открытым океаном или покрытой растительностью суши, изменения снежного и ледяного покрова являются важными механизмами обратной связи в изменении климата. Кроме того, снег и лед – эффективные изоляторы. Сезонномерзлые грунты занимают большую площадь, чем снежный покров, и их присутствие важно для потоков энергии и влаги. Таким образом, замерзшие поверхности играют важную роль в энергетических и климатических процессах. {4.1}

В криосфере хранится около 75% мировых запасов пресной воды. В региональном масштабе изменения в горном снежном покрове, ледниках и небольших ледяных шапках играют решающую роль в наличии пресной воды. Поскольку превращение льда в жидкую воду происходит при конкретных температурах, то лед является одним из компонентов климатической системы, которые в случае достаточного потепления могут подвергнуться резкому изменению. Наблюдения и анализ изменений льда со времени ТДО расширились и улучшились, в частности, что касается убыли объема горных ледников, уменьшения снежного покрова, изменений в вечной мерзлоте и мерзлых грунтов,

⁵ Оцениваемые регионы – это регионы, рассматриваемые в главе ТДО о региональных проекциях и в главе 11 данного доклада.

⁶ Осадки и температура объединены в индекс интенсивности засухи Палмера (ИИЗП), который в данном докладе считается одной из мер засухи. ИИЗП не учитывает такие переменные, как скорость ветра, солнечная радиация, облачность и содержание водяного пара, но является отличным измерителем исключительно осадков.

Вставка TS.3. Динамика и стабильность ледовых щитов

Ледовые щиты – это толстые, обширные массы льда, образованного, главным образом, вследствие уплотнения снега. Они распространяются под собственным весом, перенося массу к своим границам, где теряют ее, в основном из-за поверхностного стока талых вод или откалывания айсбергов в шельфовые моря либо озера. Ледовые щиты плывут вследствие деформации внутри льда или скольжения по находящимся под ними материалам благодаря смазыванию талой водой. Быстрое движение подошвы ледника требует, чтобы температура у его подошвы поднималась до точки плавления за счет тепла из недр Земли, переносимого с талой водой, или же тепла от «трения» движения льда. Скорость скольжения при данном гравитационном стрессе может различаться на несколько порядков величины, в зависимости от присутствия или отсутствия деформируемых отложений, шероховатости подложки, поступления и распределения воды. Условия у подошвы ледника обычно характеризуются плохо, что вводит важные неопределенности в понимание стабильности ледовых щитов. {4.6}

Движение льда часто принимает форму быстро перемещающихся ледяных потоков (которые плывут между ледяными стенами, движущимися медленнее) или в выводные ледники (со стенками из породы). Усиленное движение в ледяных потоках возникает либо из-за более сильного гравитационного стресса, связанного с более толстым льдом в скальных ковшах, либо из-за повышенного смазывания у подошвы. {4.6}

Стекший лед по берегам часто остается прикрепленным к ледовому щиту, образуя плавучий шельфовый ледник. Шельфовый ледник движется вперед, распространяясь и становясь тоньше под собственным весом, но вместе с тем набирая вес за счет снегопадов и поступления льда с ледового щита. Трение по бокам шельфового ледника и над локальными отмелями замедляет движение ледника и, следовательно, сток льда с ледового щита. Шельфовый ледник теряет массу из-за откалывания айсбергов спереди и за счет таяния в океанической полости под ним. Исследования показывают, что потепление океана на 1°C могло бы повысить скорость таяния массы шельфовых льдов на 10 м в год, но недостаточное знание полостей в шельфовых льдах, которые в значительной мере недоступны, ограничивает точность таких оценок. {4.6}

Палеоклиматические данные о предыдущих ледниковых периодах показывают, что ледовые щиты уменьшаются в ответ на потепление и увеличиваются в ответ на похолодание и что темпы уменьшения могут превышать темпы роста. Объемы Гренландского и Антарктического ледовых щитов эквивалентны повышению уровня моря соответственно приблизительно на 7 и 57 м. Палеоклиматические данные показывают также, что значительное таяние одного или обоих ледовых щитов уже, вероятно, случилось в прошлом, однако данные кернов льда говорят о том, что ни один из них не исчезал полностью в периоды потепления как минимум за последний миллион лет. Ледовые щиты могут реагировать на экологическое воздействие в очень больших временных масштабах, что говорит о том, что текущее потепление может вызвать изменения в далеком будущем. Например, для проникновения поверхностного потепления к породной массе и изменения там температуры может понадобиться больше 10 тысяч лет. Скорость льда на большей части ледового щита медленно изменяется в ответ на изменения формы ледового щита или температуры на его поверхности, однако возможны и сильные изменения скорости в ледяных потоках и выводных ледниках в ответ на изменения условий у подошвы, проникновение поверхностной талой воды к ложу или изменения в шельфовых ледниках, в которые они текут. {4.6, 6.4}

Модели, в настоящее время настроенные на длительную интеграцию, остаются наиболее надежными в трактовке поверхностного накопления и абляции, как для ТДО, но не обеспечивают полную трактовку динамики льда; следовательно, анализ прошлых изменений или будущих проекций с помощью этих моделей может недооценивать влияние движения льда на повышение уровня моря, однако порядок величины такого эффекта неизвестен. {8.2}

уменьшения площади арктического морского льда, прибрежного утончения Гренландского ледового щита, которое превышает внутреннее утолщение, обеспечиваемое усилением снегопадов, уменьшения сезонномерзлых грунтов и речного и озерного ледового покрова. Эти наблюдения и анализ позволяют лучше понять, как меняется криосфера, в частности, как она влияет на последние изменения уровня моря. Центральное место в данном докладе занимают периоды с 1961 года до настоящего времени и с 1993 года до настоящего времени,

поскольку за эти периоды имеются, соответственно, данные прямых измерений баланса массы ледников и данные альтиметрических наблюдений ледовых щитов. {4. 1}

Во многих регионах снежный покров уменьшился, особенно весной. По результатам спутниковых наблюдений за 1966-2005 годы снежный покров в северном полушарии в конце 1980-х годов ежемесячно, кроме ноября и декабря, уменьшался со среднегодовой скоростью 5% (см. рис. TS. 12). В южном полушарии имеющиеся немногие результаты

наблюдений показывают в основном либо снижение, либо отсутствие изменений за последние 40 и более лет. Площадь снежного покрова в северном полушарии в апреле сильно зависит от апрельской температуре в районе 40-60° с.ш., отражая обратную связь между снегом и температурой. {4.2}

Уменьшение снежного покрова зарегистрировано в нескольких регионах по всему миру, что видно

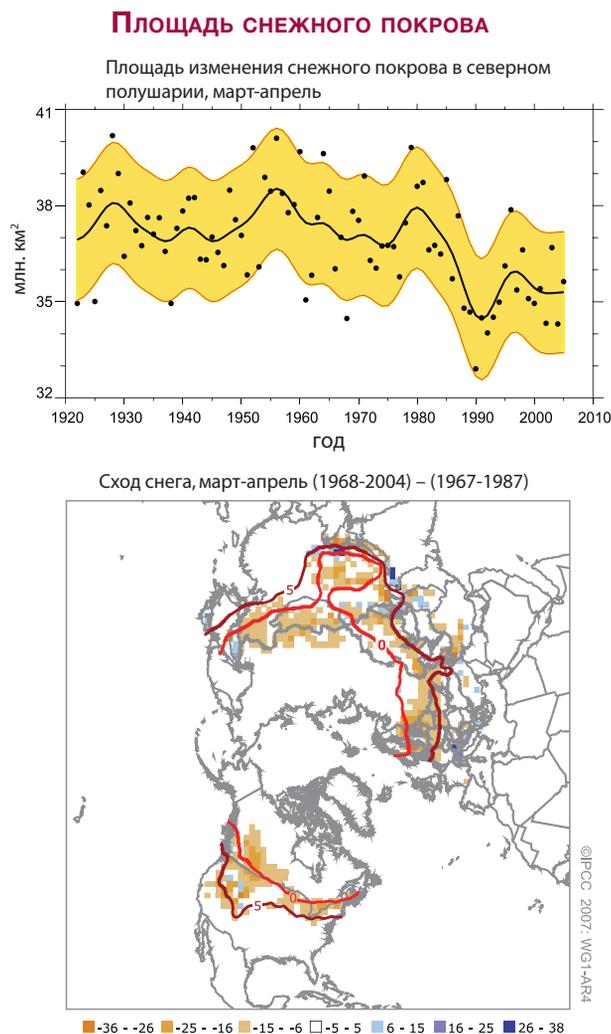


Рис. TS.12. (Вверху) Площадь снежного покрова в северном полушарии в марте-апреле по показателю снежного покрова, измеренному со станций (до 1972 г.) и по спутниковым данным (в 1972 г. и позже). Сглаженная кривая означает десятилетние вариации (см. Приложение 3.A), при этом диапазон данных 5-95% дан желтым цветом. (Внизу). Различия в распределении снежного покрова в марте-апреле между ранней (1967-1987 гг.) и поздней (1988-2004 гг.) частями спутниковой эры (выражены в процентном охвате). Коричневатый цветом обозначены участки, где снежный покров уменьшился. Красные кривые – это изотермы 0°C и 5°C, усредненные за март-апрель 1967-2004 гг., по данным версии 2 системы измерений приземной температуры в узлах координатной сетки Отделения климатических исследований (CRU) (CRUTEM2v). Самое сильное уменьшение в общем следует за изотермами 0°C и 5°C, отражая сильную обратную связь между снегом и температурой. {рис. 4.2, 4.3}

из годового временного ряда водного эквивалента горного снега и высоты снежного покрова. Горный снег может быть чувствительным к небольшим изменениям температуры, особенно в умеренных климатических зонах, где переход от дождя к снегу обычно тесно связан с высотой нулевой изотермы. Уменьшение горного снежного покрова в западной части Северной Америки и в Швейцарских Альпах

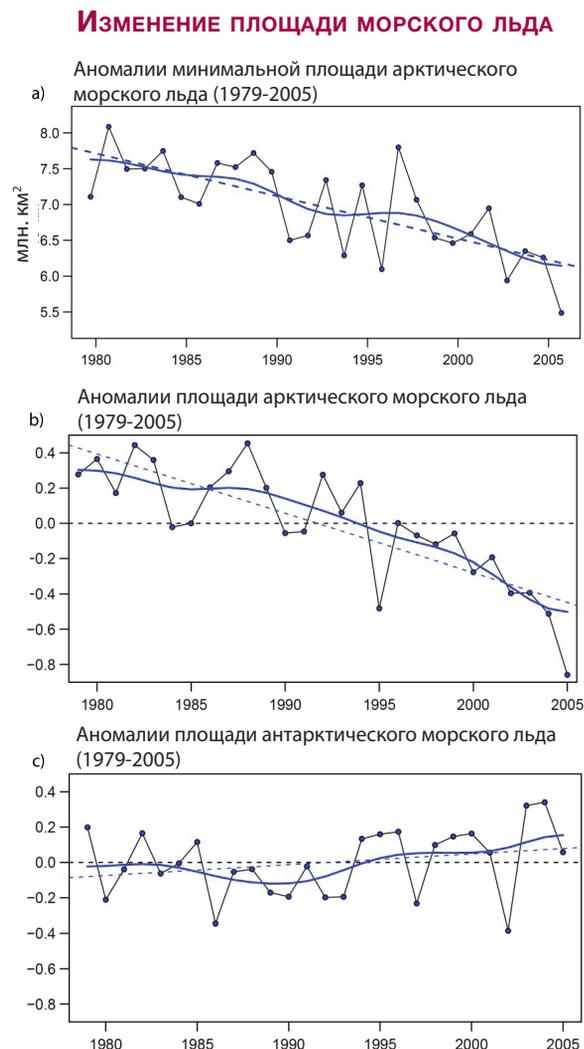


Рис. TS.13. (а) Минимальная площадь арктического морского льда; (б) аномалии площади арктического морского льда; (с) аномалии площади антарктического морского льда (все – за период 1979-2005 гг.). Символы означают годовые значения, а плавные синие кривые – десятилетние вариации (см. Приложение 3.A). Пунктирные линии показывают линейные тренды.

(а) Результаты показывают линейный тренд $-60 \pm 20 \times 10^3 \text{ км}^2/\text{год}$, или приблизительно $-7,4\%$ за десятилетие.

(б) Линейный тренд равен $-33 \pm 7,4 \times 10^3 \text{ км}^2/\text{год}$ (эквивалентно приблизительно $-2,7\%$ за десятилетие) и является значимым на доверительном уровне 95%.

(с) Результаты по Антарктиде показывают небольшой положительный тренд, $5,6 \pm 9,2 \times 10^3 \text{ км}^2/\text{год}$ –1, что статистически не значимо. {рис. 4.8 и 4.9}

максимально на небольшой высоте, где температура выше. Водный эквивалент горного снега с 1950 года уменьшился на 75% станций мониторинга в западной части Северной Америки. Высота горного снежного покрова также уменьшилась в Альпах и в юго-восточной части Австралии. Прямые наблюдения за высотой снежного покрова слишком ограничены для того, чтобы определить изменения в Андах, однако измерения температуры показывают, что высота, на которой выпадает снег (над снеговой линией), в гористых районах Южной Америки, вероятно, увеличилась. {4.2}

Вечная мерзлота и сезонномерзлые грунты в большинстве регионов в последние десятилетия демонстрируют серьезные изменения. Изменения в состоянии вечной мерзлоты могут влиять на речной сток, водоснабжение, углеродный обмен, стабильность ландшафта, и причинять ущерб инфраструктуре. С 1980-х годов отмечается рост температур в верхней части слоя вечной мерзлоты, достигающий 3°C. Потепление вечной мерзлоты наблюдается также, в разных масштабах, в канадской Арктике, Сибири, на Тибетском плато и в Европе. Толща вечной мерзлоты тает со скоростью от 0,04 м/год на Аляске до 0,02 м/год на Тибетском плато. {4.7}

Максимальная площадь, покрытая сезонномерзлыми грунтами, в северном полушарии уменьшилась за вторую половину 20-го века приблизительно на 7%, причем весной уменьшение составляло до 15%. Максимальная толщина сезонномерзлых грунтов в Евразии с середины 20 столетия уменьшилась приблизительно на 0,3 м. Кроме того, максимальная глубина сезонного таяния в российской Арктике за период с 1956 по 1990 г. увеличилась почти на 0,2 м. {4.7}

В среднем общая тенденция изменений речного и озерного льда в северном полушарии за последние 150 лет показывает, что начало ледостава отодвигалось со средней скоростью 5,8±1,9 дней за сто лет, а начало ледохода – приближалось со скоростью 6,5±1,4 дней за сто лет. Тем не менее, наблюдалась также значительная пространственная изменчивость, и в некоторых регионах отмечались тренды противоположного знака. {4.3}

Согласно спутниковым наблюдениям, среднегодовая площадь арктического морского льда уменьшалась с 1978 года приблизительно на 2,7±0,6% за десятилетие (см. рис TS.13). Летом площадь льда уменьшается больше, чем зимой, причем летний минимум уменьшается со скоростью

около 7,4±2,4% за десятилетие. Другие данные показывают, что летнее уменьшение началось около 1970 года. Аналогичные наблюдения в Антарктике обнаруживают более значительную межгодовую изменчивость, но последовательных трендов за период спутниковых наблюдений не выявлено. В щиты и ледники, изменения в морском льде не оказывают прямого воздействия на изменение уровня моря (тому что этот лед уже плавает), но могут влиять на изменение солености через приток пресной воды. {4.4}

На протяжении 20-го столетия ледники и ледяные шапки испытывали повсеместную потерю массы и содействовали повышению уровню моря. Потеря массы ледников и ледяных шапок (за исключением находящихся вокруг ледовых щитов Гренландии и Антарктиды), по оценкам, эквивалентна повышению уровня моря на 0,50±0,18 мм в год за 1961-2003 годы и на 0,77±0,22 мм в год за 1991-2003 годы. Убыль ледников в конце 20-го века, вероятно, стала реакцией на потепление после 1970 года. {4.5}

Недавние наблюдения дают доказательства быстрых изменений ледяного потока в некоторых регионах, которые содействуют повышению уровня моря, и показывают, что движение может быть ключевым фактором в будущей реакции шельфового льда, прибрежных ледников и ледовых щитов на изменение климата. Уточнение или убыль шельфового льда в некоторых прибрежных районах Гренландии, Антарктического полуострова и Западной Антарктиды связано с ускорением потока близлежащих ледников и ледяных потоков, показывая, что шельфовые ледники (в том числе короткие, длиной несколько километров или десятков километров) могут играть более значительную роль в стабилизации или ограничении движения льда, чем считалось раньше. Наблюдаемым изменениям способствует как океаническая, так и атмосферная температура. Длительное летнее потепление в районе Антарктического полуострова, весьма вероятно, сыграло роль в последующем быстром разрушении шельфового ледника Ларсена-Б в 2002 году за счет увеличения количества летней талой воды, которая протекла в разломы и вскрыла их. Модели не обеспечивают точный учет всех физических процессов, которые происходят при наблюдаемом откалывании (как при разрушении вышеупомянутого ледника). {4.6}

Гренландский и Антарктический ледовые щиты, вместе взятые, весьма вероятно, содействовали

повышению уровня моря в прошедшем десятилетии. Весьма вероятно, что Гренландский ледовый щит с 1993 по 2003 г. уменьшился, причем утолщение в центральных районах более чем компенсировалось повышенным таянием в прибрежных зонах. Из наблюдений четко не установлено, увеличиваются ли или уменьшаются ледовые щиты во временных масштабах больше десятилетия. Несогласованность методов и небольшое количество оценок не позволяют получить наилучшие оценки или статистически точные пределы погрешности изменений в балансах массы ледовых щитов. Однако ускорение движения выводных ледников способствует стоку льда из середины и наблюдается на обоих ледовых щитах (см. рис. TS.14). Оценка данных и методов показывает баланс массы Гренландского ледового щита от -50 до -100 Гт/год (уменьшение способствует повышению глобального уровня моря на $0,14$ - 28 мм/год) за

1993-2003 годы, с еще большими потерями в 2005 году. Для более ранних периодов и для Антарктиды неопределенность еще больше. Оцениваемый диапазон баланса массы Гренландского ледового щита за период 1961-2003 годы – от роста на 25 Гт/год до убыли на 60 Гт/год ($-0,07$ - $+0,17$ мм/год эквивалента уровня моря (ЭУМ)). Оценка всех этих данных дает общий баланс массы Антарктического ледового щита в следующем диапазоне: от роста на 100 Гт/год до убыли на 200 Гт/год ($-0,27$ - $+0,56$ мм/год ЭУМ) за 1961-2003 годы, от $+50$ до -200 Гт/год ($-0,14$ - $+0,55$ мм/год ЭУМ) за 1993-2003 годы. Эти изменения в ледяном потоке, вероятно, достаточны для того, чтобы объяснить большую часть или весь расчетный дисбаланс массы льда в Антарктиде, а последние изменения в ледяном потоке, снегопадах и стоке талых вод достаточны для объяснения дисбаланса массы в Гренландии. {4.6, 4.8}

СКОРОСТЬ НАБЛЮДАЕМОГО ИЗМЕНЕНИЯ ВЫСОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ЛЬДА

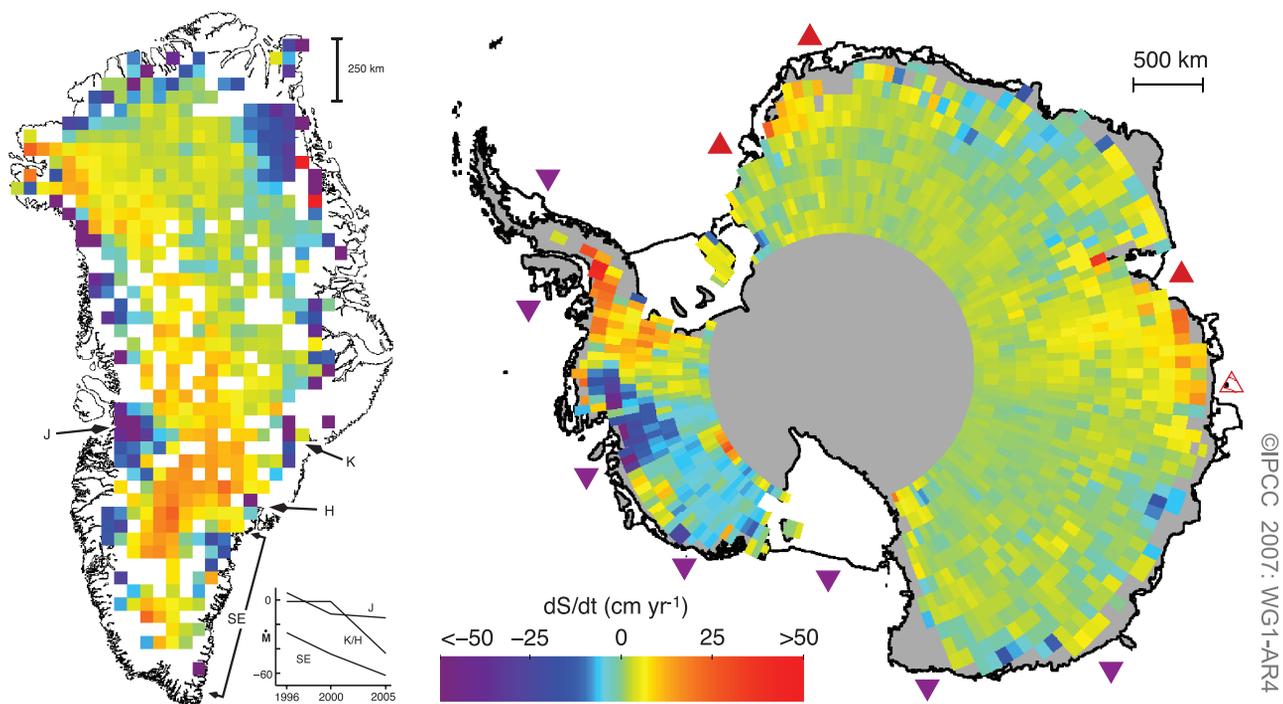


Рис. TS.14. Темпы наблюдаемого в последнее время изменения высоты поверхности льда в Гренландии (слева, 1989-2005 годы) и Антарктиде (справа, 1992-2005 годы). Красные тона – поднятие поверхности, синие – опускание поверхности, что обычно означает увеличение или убыль массы льда, хотя важную роль могут играть изменения в высоте ложа и приповерхностной плотности. Для Гренландии показаны быстро истончающиеся выводные ледники Якобсхавн (J), Кангердлугсваг (K), Хелхейм (H) и участки вдоль юго-восточного берега (SE), вместе с их расчетным балансом массы во времени (K и H объединены, в Гт/год, при этом отрицательные значения означают потерю массы ледового щита в океан). Для Антарктиды ледовые щиты, которые становятся толще или тоньше более чем на 30 см/год, показаны фиолетовыми треугольниками (тоньше) и красными треугольниками (толще), направленными в сторону моря от соответствующих шельфовых ледников. {рис. 4.17 и 4.19}

TS.3.3 Изменения в океане: инструментальные наблюдения

Океан играет важную роль в климате и изменении климата. На океан влияет массообмен, энергетический обмен и обмен количеством движения, происходящие в атмосфере. Его теплоемкость почти в 1000 раз больше, чем теплоемкость атмосферы, и поэтому чистое поглощение тепла океаном во много раз больше, чем атмосферой (см. рис. TS.15). Глобальные наблюдения за теплом, поглощаемым океаном, нельзя представить как доказательную проверку изменений в глобальном энергетическом балансе. Изменения количества энергии, поглощаемой верхними слоями океана, также играют важную роль для климатических изменений в сезонном и межгодовом масштабе, таких как Эль-Ниньо. Изменения в теплопереносе и ТПМ оказывают важное воздействие на региональный климат во всем мире. Жизнь в море зависит от биогеохимического

ЭНЕРГОЕМКОСТЬ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

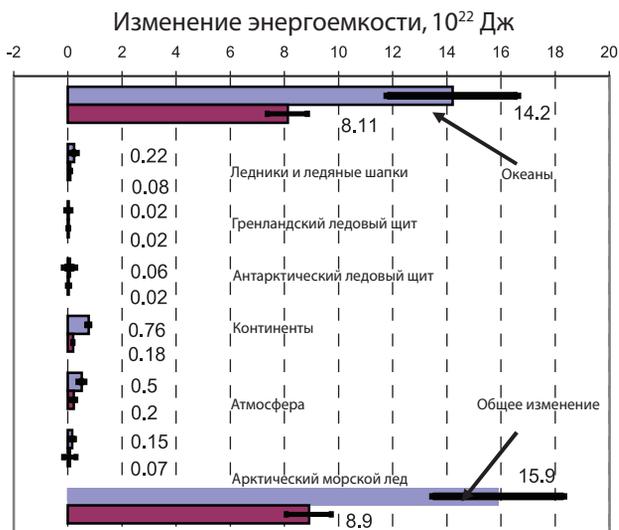


Рис. TS.15. Изменения энергоемкости различных компонентов системы Земли за два периода (1961-2003 гг. и 1993-2003 гг.). Синие полосы соответствуют 1961-2003 гг.; бордовые – 1993-2003 гг. Положительное изменение энергоемкости означает увеличение запаса энергии (т.е. теплоемкости океанов, скрытого тепла от уменьшения объемов льда или морского льда, теплоемкости континентов, кроме скрытого тепла от изменений вечной мерзлоты, скрытого и активного тепла, потенциальной и кинетической энергии атмосферы). Все оценки погрешностей – 90%-ные доверительные интервалы. Для континентального притока тепла оценки достоверности нет. Некоторые из этих результатов пересчитаны из опубликованных результатов за два соответствующих периода. {см. рис. TS. 5.4}

состояния океана, и на нее влияют изменения его физического состава и циркуляции. Изменения в биогеохимии океана также могут влиять на климатическую систему, например, через изменения в поглощении или выделении радиационно активных газов, таких как CO_2 . {5.1, 7.3}

Вариации глобального среднего уровня моря частично определяются изменениями в плотности, вследствие теплового расширения или сжатия объема океана. Локальные изменения уровня моря также содержат связанный с плотностью компонент вследствие изменений температуры и солёности. Кроме того, водный обмен между океанами и другими бассейнами (например, ледовыми щитами, горными ледниками, водами суши, атмосферой) может менять массу океана и, следовательно, способствовать изменениям уровня моря. Изменение уровня моря географически неоднородно, потому что такие процессы, как изменения океанической циркуляции, неоднородны в масштабах планеты (см. вставку TS.4). {5.5}

Океанические переменные могут быть полезными для выявления изменения климата, в частности, изменений температуры и солёности ниже поверхностного слоя перемешивания, где изменчивость меньше, а соотношение сигнал-шум выше. Наблюдения, проанализированные после ТДО, дали новые доказательства изменений теплосодержания и солёности мирового океана, уровня моря, влияния теплового расширения на повышение уровня моря, изменение водной массы и биогеохимический цикл. {5.5}

TS.3.3.1 Изменения теплосодержания океана и циркуляции

Мировой океан нагревается с 1955 года, причем на этот период приходится более 80% изменений энергоемкости климатической системы Земли. Имеющиеся 7,9 млн. вертикальных профилей температуры океана позволяют построить улучшенный глобальный временной ряд (см. рис. TS.16). Анализ глобального океанического теплового баланса продублирован несколькими независимыми аналитиками и устойчив к используемому методу. Ограничения охвата данными требуют усреднения по десятилетиям для больших глубин океана, а наблюдаемая десятилетняя изменчивость глобального теплосодержания понята не полностью. К тому же недостаток в распределении данных (особенно охват в Южном океане и южной части Тихого океана)

ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ОКЕАНА (0-700 м)

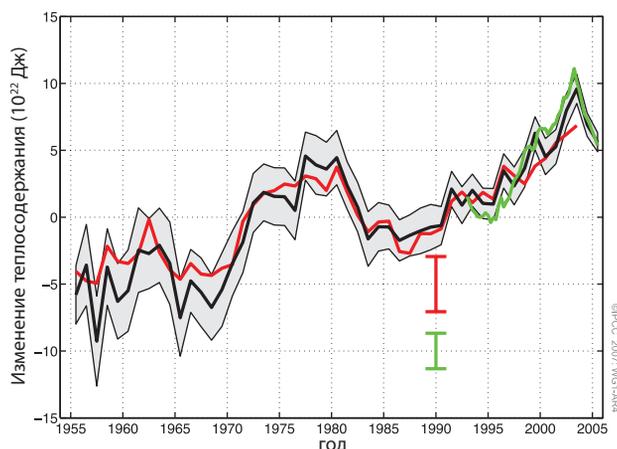


Рис. TS.16. Временной ряд теплосодержания глобального океана (10^{22} Дж) для слоя 0-700 м. Три цветные линии соответствуют независимым анализам океанографических данных. Черная и красная линии обозначают отклонение от среднего значения за 1961-1990 годы, а короткая зеленая линия — отклонение от среднего значения черной кривой за 1993-2003 годы. 90%-ный диапазон неопределенности для черной кривой обозначена серым, а для двух других кривых — планками погрешностей. (Рис. 5.1)

могут вносить дополнительные погрешности в определение десятилетней изменчивости теплосодержания. За 1961-2003 годы слой океана от 0 до 3000 м поглотил около $14,1 \cdot 10^{22}$ Дж, что эквивалентно средней скорости нагрева $0,2 \text{ Вт/м}^2$ (на единицу площади поверхности Земли). За 1993-2003 годы соответствующая скорость потепления слоя 0-700 м была выше, около $0,5 \pm 0,18 \text{ Вт/м}^2$. По отношению к 1961-2003 годам период 1993-2003 годы отличался высокой скоростью потепления, но в 2004 и 2005 годах было некоторое охлаждение по сравнению с 2003 годом. {5.1– 5.3 }

Потепление распространено по верхним 700 м глобального океана. Атлантический океан нагрелся к югу от 45° с.ш. В бассейне Атлантического океана это потепление проникает глубже, чем в Тихом, Индийском и Южном океанах, из-за глубокой опрокидывающей ячейки циркуляции, присутствующей в Северной Атлантике. Глубокая опрокидывающая циркуляция в южном полушарии дает мало доказательств изменений на основании имеющихся данных, однако верхние слои Южного океана сильно способствуют общему потеплению. Минимум два моря в субтропических широтах (Средиземное и Японское/Восточно-Китайское) нагреваются. Хотя глобальный тренд свидетельствует

о потеплении, в глобальном временном ряде наблюдались значительные десятилетние вариации, и есть большие регионы, где океаны остывают. Части северного района Атлантического океана, северного и экваториального районов Тихого океана и в последние 50 лет остывали. Изменения в Тихом океане показывают пространственные профили, похожие на ЭНСО и частично связанные с ТДК. {5.2, 5.3}

Части Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции демонстрируют значительную десятилетнюю изменчивость, однако данные не подтверждают наличия устойчивого тренда в этой циркуляции. {5.3}

TS.3.3.2 Изменения в биогеохимии и солёности океана

Поглощение антропогенного углерода с 1750 года привело к тому, что океан становится кислее, в частности, pH поверхности снизился в среднем на 0,1 ед.⁷ Поглощение CO_2 океаном изменяет его химическое равновесие. Растворенный CO_2 образует слабую кислоту, поэтому при повышении концентрации растворенного CO_2 pH снижается (т.е. океан становится кислее). Общее изменение pH вычисляется по оценкам поглощения антропогенного углерода и простым моделям океана. Прямые наблюдения за pH на имеющихся станциях за последние 20 лет также демонстрируют тенденции к понижению pH, со скоростью около 0,02 ед. за десятилетие. Снижение pH океана уменьшает уровень, ниже которого карбонат кальция растворяется, и увеличивает объем океана, который недонасыщен такими минералами, как арагонит (метастабильная форма карбоната кальция) и кальцит, с помощью которых морские организмы строят свои раковины. Понижение поверхностного pH океана и повышение температуры поверхности также уменьшает буферную емкость океана в отношении CO_2 и скорость, с которой океан может поглощать избыток атмосферного CO_2 . {5.4, 7.3}

Концентрация кислорода в вентилируемом термоклине (около 100-1000 м) за 1970-1995 гг. в большинстве океанских бассейнов снизилась. Эти изменения, возможно, отражают пониженную скорость вентиляции, связанную с нагревом верхних слоев и (или) изменениями биологической активности. {5.4}

⁷ Кислотность — мера концентрации ионов H^+ , которая выражается в единицах pH, где $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$. Понижение pH на 1 единицу означает десятикратное повышение концентрации H^+ , или кислотности..

ЛИНЕЙНЫЕ ТРЕНДЫ СРЕДНЕЙ ЗОНАЛЬНОЙ СОЛЕННОСТИ (1955 - 1998)

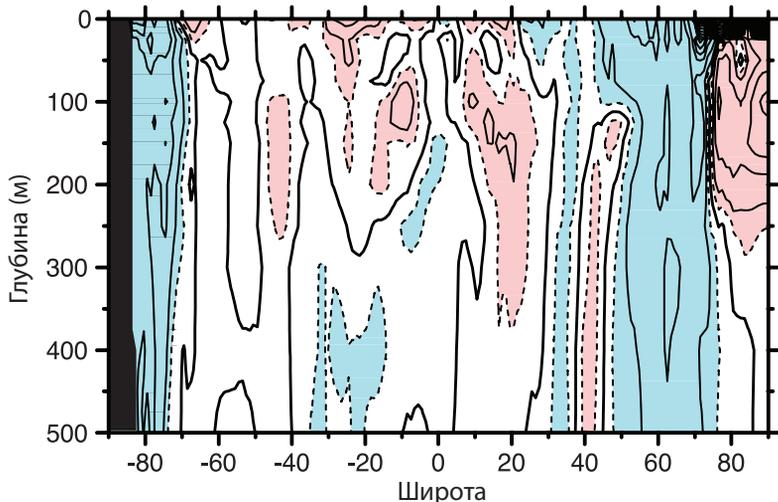


Рис. TS.17. Линейные тренды (1955-1998 гг.) средней зональной солёности (практическая шкала солёности) мирового океана. Интервал между изолиниями - 0,01 за десятилетие; прерывистые контуры - ± 0.005 за десятилетие. Темная сплошная линия – нулевой контур. Розовые участки – значения, равные или больше 0,005 за десятилетие, синие участки – значения, равные или меньше -0.005 за десятилетие. {рис. 5.5}

Сейчас имеются обширные доказательства изменений солёности океана в масштабе круговой циркуляции и бассейна за последние полстолетия (см. рис. TS.17), при этом солёность приповерхностных вод в большинстве испаряющих регионов практически всех океанских бассейнов возрастает. Эти изменения солёности предполагают изменения в гидрологическом цикле всех океанов. В высокоширотных регионах обоих полушарий поверхностные воды демонстрируют общее опреснение, согласующееся с тем, что в этих регионах больше осадков, хотя более значительный сток, более интенсивное таяние льда, более значительная адвекция и изменения меридиональной опрокидывающей циркуляции также могут вносить свой вклад. Субтропические широты в обоих полушариях характеризуются повышением солёности в верхних 500 м. Эти модели соотносятся с изменением гидрологического цикла Земли, в частности, с изменениями количества осадков и, соответственно, более значительным переносом воды в атмосфере из низких широт в высокие широты, а также из Атлантического океана в Тихий. {5.2}

TS.3.3.3 Изменения уровня моря

За 1961-2003 гг. средние темпы повышения глобального среднего уровня моря по данным мареографов составили $1,8 \pm 0,5$ мм в год (см. рис. TS.18). С целью изучения баланса уровня моря все факторы влияния материкового льда получили наилучшие оценки и доверительные интервалы от 5 до 95%. Вклад среднего теплового расширения в повышение уровня моря за этот период составил $0,42 \pm 0,12$ мм/год, со значительными десятилетними вариациями, а вклад ледников, ледяных шапок и ледовых щитов оценивается в $0,7 \pm 0,5$ мм/год (см. табл. TS.3). Сумма этих расчетных связанных с климатом вкладов почти за четыре прошедших десятилетия составляет, таким образом $1,1 \pm 0,5$ мм/год, что меньше наилучшей оценки по мареографическим наблюдениям (аналогично противоречию, отмеченному в ТДО). Таким образом, баланс уровня моря за 1961-2003 годы не подведен удовлетворительно. {4.8, 5.5}

Глобальные средние темпы повышения уровня моря, измеренные системой спутниковой

ГЛОБАЛЬНЫЙ СРЕДНИЙ УРОВЕНЬ МОРЯ

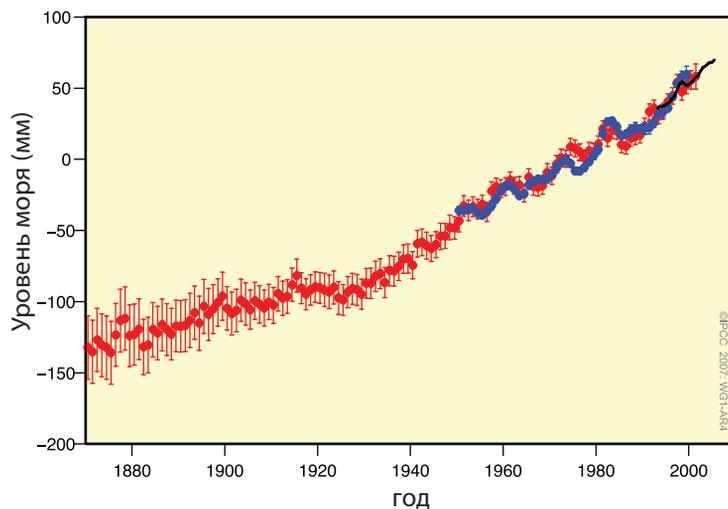


Рис. TS.18. Среднегодовой глобальный уровень моря на основании реконструированных данных за период с 1870 г. (красный), мареографических измерений с 1950 г. (синий) и данных спутниковой альтиметрии с 1992 г. (черный). Единицы измерения – миллиметры относительно среднего за 1961-1990 гг. Планки погрешностей – 90%-ные доверительные интервалы. {Рис. 5.13}

Табл. TS.3. Вклады в повышение уровня моря на основании наблюдений (левые столбцы) по сравнению с моделями, использованными в данной оценке (правые столбцы; детали см. в разделе 9.5 и Приложении 10.A). Значения даны за 1993-2003 гг. и за последние четыре десятилетия, включая наблюдаемое общее повышение. {Адаптировано из табл. 5.3 и 9.2}

Источники повышения уровня моря	Повышение уровня моря (мм/год)			
	1961–2003 гг.		1993–2003 гг.	
	Наблюдение	Модель	Наблюдение	Модель
Тепловое расширение	0.42 ± 0.12	0.5 ± 0.2	1.6 ± 0.5	1.5 ± 0.7
Ледники и ледяные шапки	0.50 ± 0.18	0.5 ± 0.2	0.77 ± 0.22	0.7 ± 0.3
Гренландский ледовый щит	0.05 ± 0.12^a		0.21 ± 0.07^a	
Антарктический ледовый щит	0.14 ± 0.41^a		0.21 ± 0.35^a	
Сумма отдельных климатических <i>sea level rise</i> воздействий на повышение уровня моря	1.1 ± 0.5	1.2 ± 0.5	2.8 ± 0.7	2.6 ± 0.8
Наблюдаемое общее повышение уровня моря	1.8 ± 0.5 (мареографы)		3.1 ± 0.7 (спутн. альтиметр)	
Разница (наблюдаемое общее минус сумма наблюдаемых климатических вкладов)	0.7 ± 0.7		0.3 ± 1.0	

Примечания:

^a установленное на основании наблюдений (см. раздел 9.5)

альтиметрии TOPEX/Poseidon в 1993-2003 годах, составляют $3,1 \pm 0,7$ мм/год. Эти наблюдаемые темпы за прошедший период близки к расчетному итогу $2,8 \pm 0,7$ мм/год связанных с климатом вкладов вследствие теплового расширения ($1,6 \pm 0,5$ мм/год) и изменений материкового льда ($1,2 \pm 0,4$ мм/год). Таким образом, понимание баланса уровня моря значительно улучшилось за прошедший период, при этом вклады климата являются основными факторами баланса уровня моря (который подведен в рамках известных погрешностей). Отражают ли более высокие темпы за 1993-2003 гг. по сравнению с 1961-2003 гг. десятилетнюю изменчивость или же рост более долгосрочного тренда, - не ясно. Данные мареографических измерений показывают, что более высокие темпы, похожие на наблюдаемые в 1993-2003 годах, имели место в других десятилетиях с 1950 года. {5.5, 9.5}

На основании данных мареографических измерений и геологических данных есть высокая степень достоверности того, что темпы повышения уровня моря за период с середины XIX до середины XX века возросли. Одна из последних реконструкций изменения уровня моря за период с 1870 года, использующая наилучшие из имеющихся измерений, сделанных мареографами, дает высокую степень уверенности в том, что темпы повышения уровня моря за период с 1870 по 2000 годы увеличились. Геологические наблюдения показывают, что за предыдущие 2000 лет уровень моря изменился незначительно: средние темпы роста составили от 0,0 до 0,2 мм/год. Есть качественные косвенные данные об уровне Средиземного моря из

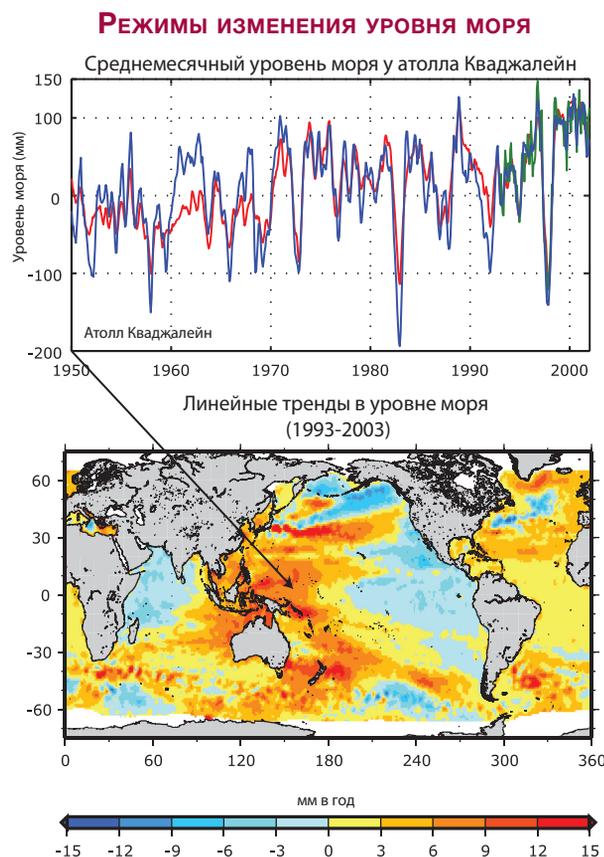


Рис. TS.19. (Вверху) Кривая среднемесячного уровня моря (мм) за 1950-2000 гг. на Кваджалейне ($8^{\circ}44'$ с.ш., $167^{\circ}44'$ в.д.). Наблюдаемый уровень моря (по данным мареографов) показан голубым цветом, реконструированный уровень моря – красным, данные спутниковой альтиметрии – зеленым. Годовые и полугодовые сигналы из каждого временного ряда удалены, а данные мареографов – сглажены. (Внизу) Географическое распределение краткосрочных линейных трендов в среднем уровне моря за 1993-2003 гг./ (мм/год) по данным спутниковой альтиметрии системы TOPEX/Poseidon. {Рис. 5.15 и 5.18}

Вставка TS.4: Уровень моря

Уровень моря по береговой линии определяется многими факторами, которые действуют в широком диапазоне временных масштабов: от нескольких часов до нескольких дней (приливы и погода), от нескольких лет до нескольких тысячелетий (климат) и больше. Сама суша может подниматься и опускаться, и такие региональные перемещения суши необходимо учитывать при использовании показаний мареографов для оценки влияния изменения океанского климата на береговой уровень моря. Прибрежные мареографы показывают, что глобальный средний уровень моря за XX столетие повысился. С начала 1990-х годов за уровнем моря также постоянно ведется наблюдение со спутников с почти глобальным охватом. Данные спутников и мареографов согласуются в широком диапазоне пространственных масштабов и показывают, что глобальный средний уровень моря за этот период продолжал повышаться. Изменения уровня моря демонстрируют географические вариации из-за ряда факторов, в том числе из-за распределения изменений в температуре океана, солёности, ветрах и океанской циркуляции. В более коротких временных масштабах на региональный уровень моря влияет изменчивость климата, например, связанная с Эль-Ниньо и САК, что ведет к региональным межгодовым вариациям, которые могут быть гораздо сильнее или слабее, чем глобальный тренд.

Наблюдения за температурой океана показывают, что тепловое расширение морской воды по мере нагревания значительно способствовало повышению уровня моря в последние десятилетия. Модели климата согласуются с наблюдениями за океаном и говорят о том, что тепловое расширение будет продолжать способствовать повышению уровня моря в следующие 100 лет. Поскольку температуры в глубинах океана изменяются медленно, то тепловое расширение будет длиться многие столетия, даже если атмосферные концентрации парниковых газов стабилизируются.

Глобальный средний уровень моря также повышается или понижается, когда вода переносится с суши в океан или наоборот. Некоторые виды деятельности человека могут способствовать изменению уровня моря, особенно путем извлечения подземных вод и строительства водохранилищ. Однако крупнейшим наземным хранилищем пресной воды является вода, замороженная в ледниках, ледяных шапках и ледовых щитах. В ледниковые периоды уровень моря был более чем на 100 м ниже, потому что ледовые щиты покрывали большие части континентов северного полушария. Нынешняя убыль ледников и ледяных шапок вносит существенный вклад в повышение уровня моря. Этот процесс, как ожидается, будет продолжаться следующие 100 лет. В последующие столетия его вклад должен уменьшиться, так как размеры этого хранилища пресной воды сократятся.

Гренландский и Антарктический ледовые щиты содержат гораздо больше льда и могут вносить большой вклад в течение многих веков. В последние годы таяние Гренландского ледового щита увеличилось и, согласно проекциям, будет продолжаться в возрастающих масштабах. Для более теплого климата модели показывают, что ледовые щиты могут накапливать больше снега, что приводило бы к понижению уровня моря. Однако в последние годы все подобные тенденции, вероятно, перевешивались ускоренным движением льда и более значительным стоком, наблюдаемым в некоторых граничных районах ледовых щитов. Процессы ускоренного движения льда еще не полностью поняты, но в будущем они могли бы привести к общему чистому повышению уровня моря за счет ледовых щитов.

Наибольшее влияние на уровень моря, связанное с климатом и погодой, оказывают экстремумы в дневном и часовом временных масштабах, связанные с тропическими циклонами и среднеширотными штормами. Низкое атмосферное давление и сильные ветры создают значительные местные отклонения уровня моря, называемые «штормовыми нагонами», которые особенно серьезны тогда, когда они совпадают с полным приливом. На изменение частоты этих экстремальных уровней моря влияют как изменения среднего уровня моря, так и изменения в метеорологических явлениях, вызывающих такие экстремумы. {5.5}

археологических источников, которые показывают, что колебания уровня моря за период с 1 до 1900 г. не превысили $\pm 0,25$ м. Имеющиеся доказательства говорят о том, что современное повышение уровня моря началось в период с середины XIX до середины XX века. {5.5}

Точные спутниковые измерения с 1993 года дают однозначное доказательство региональной изменчивости колебаний уровня моря. В некоторых

регионах темпы повышения за этот период в несколько раз превышают глобальное среднее значение, тогда как в других регионах уровень моря падает. Наибольшее повышение уровня моря с 1992 года имело место в западной части Тихого и восточной части Индийского океанов (см. рис. TS.19). Почти весь Атлантический океан демонстрирует повышение уровня моря за последнее десятилетие, тогда как в восточной

части Тихого и западной части Индийского океанов уровень моря падает. На эти временные и пространственные вариации в региональном повышении уровня моря частично влияет режим изменчивости сопряженной системы «океан-атмосфера», включая ЭНСО и САК. Характер наблюдаемого изменения уровня моря с 1992 года схож с тепловым расширением, вычисленным по изменениям температуры океана, но отличается от характера теплового расширения за последние

50 лет, что указывает на важность региональной десятилетней изменчивости. {5.5}

Наблюдения показывают повышение экстремального подъема уровня в целом ряде пунктов по всему миру начиная с 1975 года. Результаты за более длительные периоды ограничены в пространстве и недостаточны по времени, поэтому глобальный анализ за весь XX век невозможен. Во многих местах долгосрочные изменения экстремумов совпадали

Табл. TS.4. Последние тренды, оценка антропогенного влияния на тренды, прогнозы экстремальных погодных и климатических явлений, для которых есть подтверждение наблюдаемого в конце 20-го столетия тренда. Звездочка в графе D означает, что для оценки вероятности видимого антропогенного влияния были использованы официальные исследования по выявлению и объяснению, а также экспертные оценки. В остальных случаях оценка вероятности антропогенного влияния базируется на результатах объяснения изменений в среднем значении переменной или изменений в физически связанных переменных и (или) на качественном сходстве наблюдаемых и моделируемых изменений в сочетании с экспертной оценкой. {3.8, 5.5, 9.7, 11.2–1 1.9; табл. 3.7, 3.8, 9.4}

Явление ^a и направление тренда	Вероятность наличия тренда в конце 20-го века (обычно после 1960)	Вероятность человеческого влияния на наблюдаемый тренд	D	Вероятность будущих трендов на основе проекций на 21-й век с использованием сценариев СДСВ ^b
Более теплые и редкие холодные дни и ночи на большинстве участков суши	Весьма вероятно ^c	Вероятно ^e	*	Практически определено ^e
Более теплые и частые жаркие дни и ночи на большинстве участков суши	Весьма вероятно ^d	Весьма вероятно ^e	*	Практически определено ^e
Теплые периоды/волны тепла: частота возрастает на большинстве участков суши	Вероятно	Скорее вероятно, чем нет		Весьма вероятно
Сильные осадки. Частота (или доля общих осадков от сильных дождей) возрастает на большинстве участков суши	Вероятно	Скорее вероятно, чем нет		Весьма вероятно
Площадь, охваченная засухой, увеличивается	Вероятно во многих регионах с 1970-х гг.	Скорее вероятно, чем нет	*	Вероятно
Интенсивная тропическая циклоническая активность растет	Вероятно во многих регионах с 1970-х гг.	Скорее вероятно, чем нет		Вероятно
Повышенная частота случаев экстремально высокого уровня моря (без цунами)^f	Вероятно	Скорее вероятно, чем нет ^g		Вероятно ^h

Примечания:

^a Дополнительную информацию в отношении определений см. в табл. 3.7.

^b СДСВ – Специальный доклад МГЭИК о сценариях выбросов. Семейства и иллюстративные сценарии СДСВ кратко описаны во вставке в конце «Резюме для политиков».

^c Пониженная частота холодных дней и ночей (самые холодные 10%).

^d Повышенная частота жарких дней и ночей (самые жаркие 10%).

^e Потепление самых экстремальных дней и ночей каждый год.

^f Экстремально высокий уровень моря зависит от среднего уровня моря и от региональных метеорологических систем. Здесь он определен как самый высокий 1% из часовых значений наблюдаемого уровня моря на станции за данный базовый период.

^g Изменения наблюдаемого экстремально высокого уровня моря тесно связаны с изменениями среднего уровня моря. {5.5.2.6} Весьма вероятно, что антропогенная деятельность способствовала повышению среднего уровня моря. {9.5.2}

^h Во всех сценариях проекция глобального среднего уровня моря на 2100 год выше, чем в базовом периоде. {10.6} Эффект изменений в региональных метеорологических системах на экстремальные значения уровня моря не оценивался.

с изменениями среднего уровня моря. В других местах изменения атмосферных условий, таких как возмущенность, были более важны в определении долгосрочных трендов. Межгодовая изменчивость экстремумов подъема уровня моря положительно коррелировалась с региональным средним уровнем моря, а также с показателями регионального климата, такими как ЭНСО в Тихом океане и САК в Атлантическом. {5.5}

TS.3.4 Согласованность между наблюдениями

В этом разделе изменчивость и тренды различных переменных климата, в том числе атмосферы, криосферы и океана, изучаются на предмет согласованности на основании концептуального понимания физических зависимостей между переменными. Например, повышение температуры увеличивает водоудерживающую способность атмосферы. Изменения в температуре и (или) осадках должны согласовываться с очевидными изменениями в ледниках. Согласованность между независимыми наблюдениями, проводимыми разными методами с использованием разных переменных, является ключевым тестом понимания и, следовательно, повышает степень уверенности. {3.9}

Изменения в атмосфере, криосфере и океана однозначно показывают, что земной шар нагревается {3.2, 3.9, 4.2, 4.4-4.8, 5.2, 5.5}

Потепление видно как из приземной температуры воздуха, так и из ТПМ. В обоих полушариях участки суши в последние несколько десятилетий нагревались с большей скоростью, чем океаны, что объясняется гораздо большей тепловой инерцией океанов. {3.2}

Потепление климата согласуется с наблюдаемым увеличением количества дневных экстремумов тепла, уменьшением количества дневных экстремумов холода, уменьшением количества морозных дней в средних широтах. {3.2, 3.8}

Тренды приземной температуры воздуха с 1979 года сейчас согласуются с трендами на больших высотах. Вероятно, что потепление в тропосфере несколько сильнее, чем у поверхности, и существует более высокая тропопауза, что согласуется с ожиданиями от базовых физических процессов и наблюдаемым повышением концентрации парниковых газов, а также с истощением стратосферного озонового слоя. {3.4, 9.4}

Изменения температуры широко согласуются с наблюдаемым почти во всем мире сокращением криосферы. Имеют место масштабные уменьшения

массы и площади горных ледников. Изменения климата, связанные с потеплением, проявляются также в уменьшении площади и высоты снежного покрова, площади арктического морского льда, толщины слоя вечной мерзлоты и его температуры, площади сезонномерзлых грунтов и продолжительности периода ледостава и озер. {3.2, 3.9, 4.2-4.5, 4.7}

Наблюдения за повышением уровня моря с 1993 года совпадают с наблюдаемыми изменениями теплосодержания океана и изменениями в криосфере. В период 1993-2003 годы (когда стали доступными глобальные альтиметрические измерения) уровень моря повышался со скоростью $3,1 \pm 0,7$ мм/год. В этот период наблюдалось почти равновесие между наблюдаемым общим повышением уровня моря и общей убылью ледников, ледяных шапок и ледовых щитов, а также между повышением теплосодержания океана и соответствующим его расширением. Этот баланс повышает степень уверенности в том, что наблюдаемое повышение уровня моря – существенный показатель потепления. Однако на более длительный период, 1961-2003 годы, баланс уровня моря не подведен. {5.5, 3.9}

Наблюдения совпадают с физическим пониманием ожидаемой связи между водяным паром и температурой, а также с активизацией выпадения осадков в более теплом мире. Содержание водяного пара в вертикальном столбе и в верхних слоях тропосферы выросло, что дает важное подтверждение гипотезы простых физических моделей о том, что удельная влажность при потеплении растет, и представляет собой важную положительную обратную связь с изменением климата. В соответствии с растущими объемами водяного пара в атмосфере имеет место масштабное увеличение количества случаев сильных осадков и повышение вероятности наводнений на многих участках суши, даже там, где общее количество осадков уменьшается. Наблюдения за изменением солености океана дают независимое подтверждение вывода о том, что гидрологический цикл Земли изменился, причем это изменение соответствует наблюдениям, которые показывают большее количество осадков и стока рек вне тропиков и субтропиков, а также повышенный перенос пресной воды из океана в атмосферу в низких широтах. {3.3, 3.4, 3.9, 5.2}

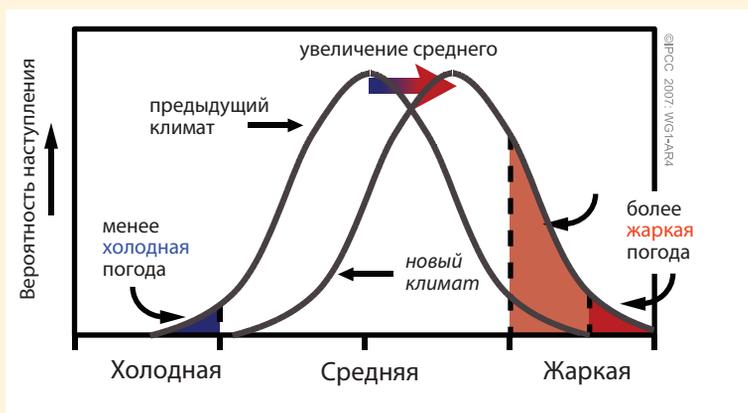
Хотя количество осадков во многих районах земного шара возросло, площадь, охваченная засухой, также увеличилась. Возросли также продолжительность и интенсивность засух. Хотя

Вставка TS.5: Экстремальные метеорологические явления

Люди, столкнувшиеся с экстремальным метеорологическим явлением (таким, как, например, крайне жаркое лето в Европе в 2003 году или сильные ливни в Мумбае, Индия, в июле 2005 года), часто спрашивают, вызвано ли оно воздействием человека на климат. Широкий круг экстремальных метеорологических явлений ожидается в большинстве регионов даже при отсутствии изменений климата, поэтому трудно связать какое либо-отдельное явление с изменением климата. В большинстве регионов инструментальные наблюдения изменчивости охватывают обычно лишь немногим более 150 лет, поэтому информация, необходимая для описания возможных экстремально редких климатических явлений, ограничена. Кроме того, для возникновения экстремального явления обычно необходимо сочетание нескольких факторов, поэтому привязывание конкретного экстремального явления к одной, конкретной причине проблематично. В некоторых случаях может быть возможно оценить антропогенный вклад в такие изменения вероятности наступления экстремальных явлений.

Тем не менее, простые статистические рассуждения показывают, что существенные изменения в частоте экстремальных явлений (и в максимальной возможности экстремального явления, например, максимальной возможности 24-часового ливня в конкретном пункте) могут быть результатом относительно небольшого сдвига в распределении метеорологической или климатической переменной.

Экстремумы – это нечастые явления в верхней и нижней частях диапазона значений конкретной переменной. Вероятность появления значений в этом диапазоне называется функцией распределения вероятностей (ФРВ), которая для некоторых переменных имеет форму, похожую на форму «нормальной» или «гауссовой» кривой (знакомая нам колоколообразная кривая). Схема такой ФРВ показана в этой вставке на рис. 1, где иллюстрируется эффект, который небольшой сдвиг (соответствующий небольшому изменению в среднем значении или центре распределения) может оказать на частоту экстремумов в любой из крайних частей распределения. Повышение частоты одного экстремума (например, количества жарких дней) часто сопровождается снижением частоты противоположного экстремума (в данном случае – количества холодных дней, например, морозов). Изменения в изменчивости или форме распределения могут усложнять эту простую картину.



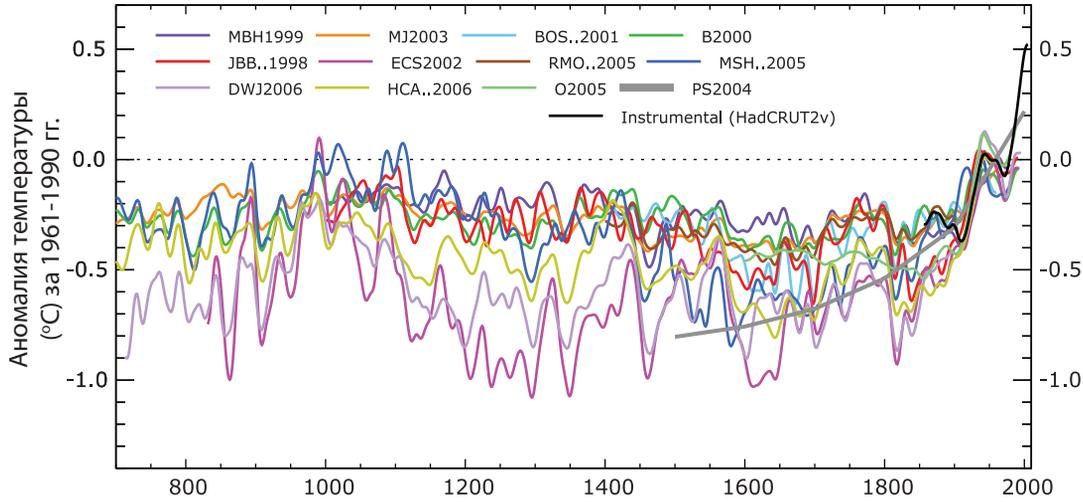
Вставка TS.5, рис. 1. Схема, иллюстрирующая влияние повышения средней температуры на температурные экстремумы при нормальном температурном распределении.

Во Втором докладе МГЭИК об оценках отмечалось, что данные и анализ экстремумов, связанных с изменением климата, немногочисленны. Ко времени выхода ТДО стал возможным улучшенный мониторинг и появились более качественные данные об изменениях в экстремумах, и модели климата анализировались на предмет получения проекций экстремальных явлений. После ТДО наблюдательная основа анализа экстремумов существенно расширилась, поэтому некоторые экстремальные явления уже изучены на большинстве участков суши (например, экстремумы дневных температур и дождей). В моделировании и выпуске проекций экстремальных явлений используется все больше моделей, и комплексы моделей с разными начальными условиями (ансамбли) сейчас дают более достоверную информацию о ФРВ и экстремумах. Со времени ТДО некоторые исследования по выявлению и разъяснению причин наблюдаемых изменений климата сконцентрировались на глобальной статистике экстремальных явлений (табл. TS.4). По некоторым экстремумам (например, интенсивности тропических циклонов) все равно остаются проблемы с данными и (или) неадекватными моделями. Некоторые оценки все еще базируются на простых рассуждениях о том, как экстремумы могут изменяться с глобальным потеплением (например, потепление может привести к увеличению числа периодов волн тепла). Другие оценки основаны на качественном сходстве между наблюдаемыми и моделируемыми изменениями. Оценка вероятности антропогенных вкладов в тренды ниже для переменных в тех случаях, где она базируется на косвенных доказательствах.

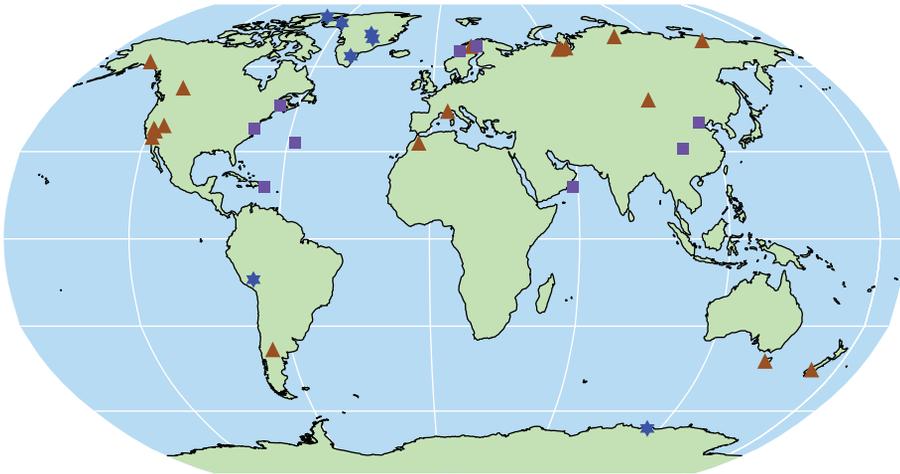
региональные засухи случались и в прошлом, большие пространственные масштабы нынешних

засух в значительной степени согласуются с ожидаемыми изменениями в гидрологическом

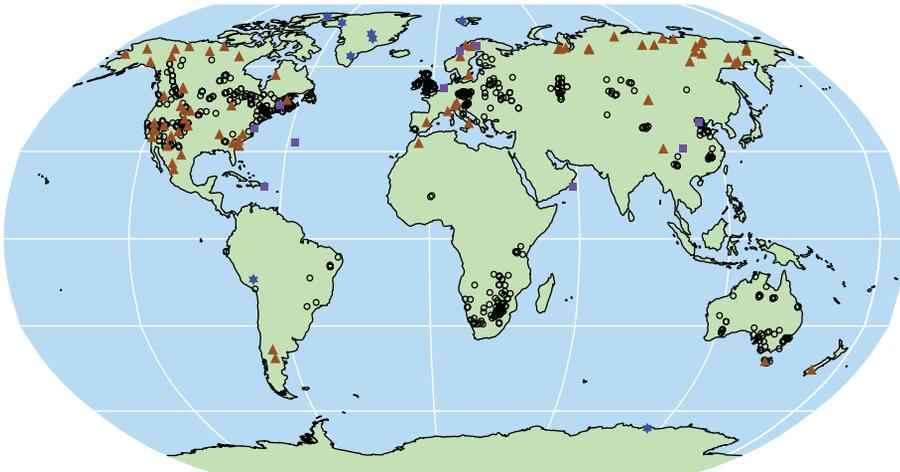
РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ



Пункты расположения косвенных источников, 1000 год н.э.



Пункты расположения косвенных источников, 1500 год н.э.



© IPCC 2007: WG1-AR4

Рис. TS.20. (Вверху) Данные об изменениях температуры в северном полушарии за последние 1300 лет с 12 реконструкциями, использующими множество косвенных источников климатических данных (показаны в цвете), и данные инструментальных измерений (черный цвет). (В середине и внизу) Пункты расположения чувствительных к температуре косвенных источников данных по состоянию на 1000 и 1500 годы н.э. (годовые кольца: коричневые треугольники; скважины: черные кружки; керны льда / скважины во льду: синие звездочки; другие источники, в том числе с низким разрешением: фиолетовые квадраты). Источники данных приведены в табл. 6.1, на рис. 6.10 и обсуждаются в главе 6. {рис. 6.10 и 6.11}

Вставка TS.6. Орбитальное воздействие

Из астрономических расчетов хорошо известно, что периодические изменения в характеристиках орбиты вращения Земли вокруг Солнца определяют сезонное и широтное распределение поступающей солнечной радиации в верхних слоях атмосферы (здесь и далее называемое «инсоляцией»). Минувшие и будущие изменения в инсоляции можно рассчитать на несколько миллионов лет с высокой степенью уверенности. {6.4}

Прецессией называют изменения во времени года, когда Земля находится ближе всего к Солнцу, с квазипериодичностью около 19-23 тыс. лет. В результате изменения в положении и продолжительности времен года на орбите сильно изменяют широтное и сезонное распределение инсоляции. Сезонные изменения в инсоляции намного значительнее, чем среднегодовые, и могут достигать 60 Вт/м² (вставка TS.6, рис.1).

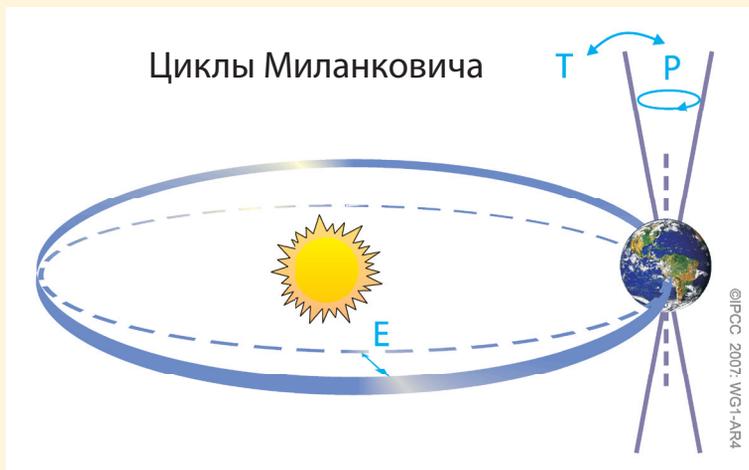
Наклонение (наклон) оси Земли колеблется приблизительно между 22° и 24,5° с двумя соседними квазипериодичностями около 41 тыс. лет. Изменения в наклонении моделируют сезонные контрасты, а также среднегодовые изменения в инсоляции с противоположными эффектами в низких широтах по сравнению с высокими (потому никакого эффекта на глобальную среднюю инсоляцию нет) {6.4}.

Эксцентриситет орбиты вращения Земли вокруг Солнца имеет более длительные квазипериодичности – 400 тыс. лет и около 100 тыс. лет. Изменения в эксцентриситете сами по себе ограничили влияние на инсоляцию, вследствие результирующих очень малых изменений в расстоянии между Солнцем и Землей, однако изменения в эксцентриситете взаимодействуют с сезонными эффектами, вызванными наклоном и предварением равноденствий.

В периоды низкого эксцентриситета, такие как около 400 тыс. лет назад и в течение следующих 100 тыс. лет, сезонные изменения инсоляции, вызванные прецессией, не настолько велики, как в периоды большего эксцентриситета (вставка TS.6, рис. 1). {6.4}

Теория Миланковича, или «орбитальная» теория ледниковых периодов, сейчас хорошо разработана. Ледниковые периоды инициируются, как правило, минимумами в высокоширотной летней инсоляции в северном полушарии, что позволяет выпавшему зимой снегу сохраняться весь год и, накапливаясь, превращаться в ледниковые щиты северного полушария. Аналогичным образом, считается, что времена с особо интенсивной высокоширотной летней инсоляцией в северном полушарии, определяемой изменением орбиты, вызывают быструю дегляциацию, соответствующее изменение климата и повышение уровня моря. Эти орбитальные воздействия определяют темпы климатических изменений, тогда как крупномасштабные реакции, как представляется, определяются сильными процессами обратной связи, которые усиливают орбитальное воздействие. В многотысячелетних временных масштабах орбитальное воздействие также оказывает существенное влияние на основные климатические системы, такие как основные муссоны Земли, глобальная океаническая циркуляция и содержание парниковых газов в атмосфере. {6.4}

Имеющиеся доказательства говорят о том, что нынешнее потепление не будет смягчено тенденцией естественного похолодания в направлении ледниковых условий. Понимание реакции Земли на орбитальное воздействие показывает, что естественным путем Земля не войдет в новый ледниковый период в течение минимум 30 тыс. лет. {6.4, ЧЗВ 6.1}



Вставка TS.6, Рис. 1. Схема изменений орбиты Земли (циклы Миланковича), которые определяют циклы ледниковых периодов. «Т» обозначает изменения наклона (наклонения) оси Земли, «Е» - изменения эксцентриситета орбиты, а «Р» - прецессию, т.е. изменения направления наклона оси в данной точке орбиты. {ЧЗВ 6.1, рис. 1}

цикле при потеплении. Количество водяного пара увеличивается при повышении глобальной температуры вследствие увеличения испарения там, где присутствует поверхностная влага, и это, как правило, приводит к увеличению осадков. Однако повышение континентальных температур, как ожидается, приведет к росту испарения и высыхания, что особенно важно в засушливых регионах, где количество поверхностной влаги ограничено. Изменения снежного запаса, снежного покрова, характера атмосферной циркуляции и траекторий циклонов также могут снижать количество сезонной влаги и способствовать засухе. Изменения ТПМ и связанные с ними изменения атмосферной циркуляции и осадков способствовали изменениям явления засухи, особенно в нижних широтах. В результате с 1970-х годов засуха стала более распространенной, особенно в тропиках и субтропиках. В Австралии и Европе прямые связи с глобальным потеплением прослеживаются

в экстремумах высоких температур и волн тепла, которыми сопровождались недавние засухи. {3.3, 3.8, 9.5}

TS.3.5 Анализ палеоклиматических данных

В палеоклиматических исследованиях используются измерения минувших изменений, выведенные из температуры в скважинах, изменений во внутрипоровой воде океанских отложений, изменений в площади ледников, а также косвенные измерения, охватывающие изменения химических, физических и биологических параметров, которые отражают минувшие изменения в среде, в которой источник косвенных измерений рос или существовал. Палеоклиматические исследования базируются на множестве косвенных источников, чтобы осуществлять перекрестную проверку результатов и лучше понимать неопределенности. Сейчас уже признано и проверено, что многие

АРКТИКА И ПОСЛЕДНЕЕ МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ

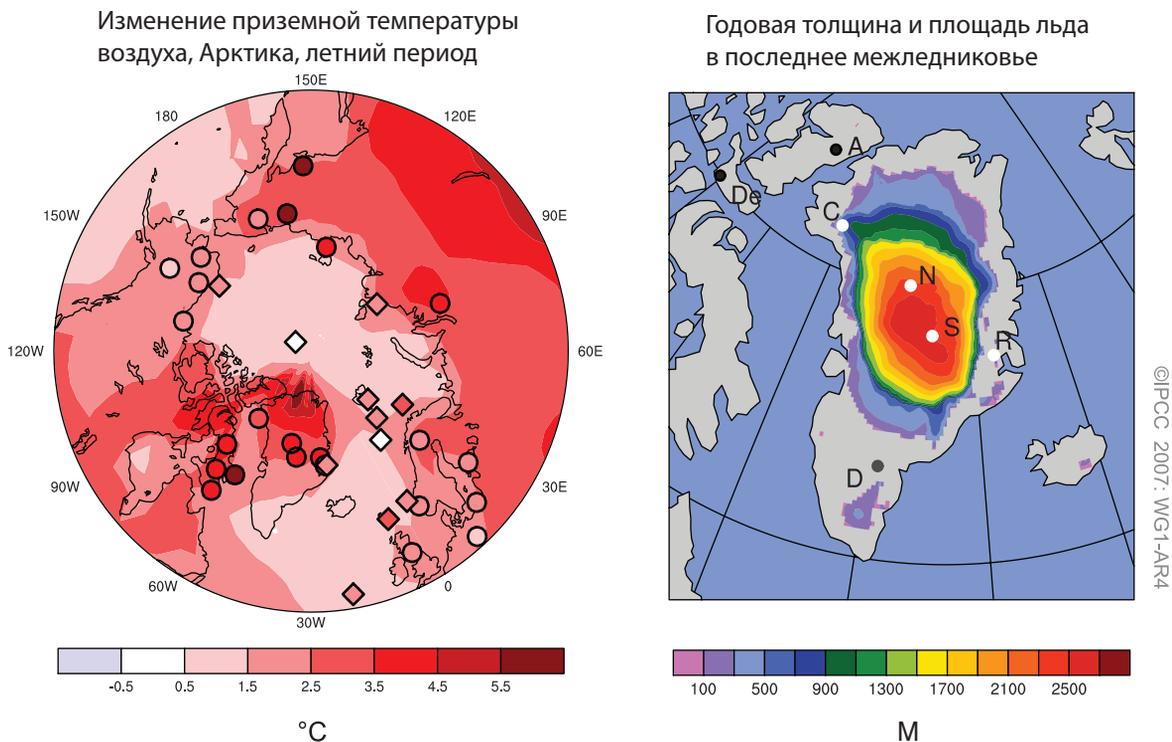


Рис. TS.21. Изменение приземной температуры воздуха в летний период по сравнению с настоящим временем над Арктикой (слева), толщина и площадь льда в Гренландии и на западных арктических ледниках (справа) в последнем межледниковье, приблизительно 125 тыс. лет назад; получено путем синтеза данных множества моделей и множества косвенных источников. (Слева) Многомодельная имитация летнего потепления в последнее межледниковье с наложенными на нее косвенными оценками максимального летнего потепления; получена по данным с наземных (кружки) и морских (квадратики) станций. (Справа) Площадь и толщина Гренландского ледового щита, ледников в западной Канаде и Исландии при их минимальной площади в последнем межледниковье; показано как многомодельное среднее из трех моделей состояния льда. Наблюдения по кернам льда показывают наличие льда в последнем межледниковье в таких пунктах наблюдений (белые точки), как Ренланд (R), Норт Гринланд Айс Кор Проджект (N), Саммит (S, GRIP и GISP2) и, возможно, Кэмп Сенчери (C), и отсутствие льда в таких пунктах (черные точки), как Девон (De) и Агаси (A). Доказательство наличия льда в последнее межледниковье в пункте Дай-3 (D, серая точка) сомнительно. {рис. 6.6}

биологические организмы (например, деревья, кораллы, планктон, животные) меняют динамику своего роста и (или) популяции в ответ на изменения климата, и что эти вызванные климатом изменения хорошо отражены в минувшем росте живых и мертвых (ископаемых) образцов или семейств организмов. Системы хронологий, основанные на ширине и плотности годовых колец деревьев, используются для получения выводов о минувших изменениях температуры путем сличения с инструментальными данными за эти же периоды. Хотя эти методы хорошо используются, есть сомнения в отношении распределений имеющихся измерений, того, как они охватывают земной шар, и таких вопросов, как степень пространственных или сезонных погрешностей, которые дают эти методы, либо очевидное расхождение во взаимосвязи с недавними изменениями климата. {6.2}

Весьма вероятно, что средние температуры в северном полушарии во второй половине XX века были выше, чем в любой другой 50-летний период за последние 500 лет и, вероятно, были самыми высокими минимум за последние 1300 лет. Данных, подтверждающих эти выводы, больше всего для летнего периода и внетропических районов суши (особенно за длительный период; см. рис. TS.20). Эти выводы основаны на косвенных данных (таких как ширина и плотность годовых колец деревьев, изотопный состав различных элементов льда, химический состав полосы роста в кораллах), которые требуют анализа для получения информации о температуре и соответствующих неопределенностей. Среди основных неопределенностей – то, что температуру и осадки в некоторых случаях трудно разделить либо они являются репрезентативными для конкретных времен года, а не для целых лет. Сейчас есть более качественные и расширенные данные, чем при подготовке ТДО, включая, например, измерения в большем количестве пунктов, улучшенный анализ данных о температуре в скважинах, более обширный анализ ледников, кораллов и отложений. Вместе с тем, палеоклиматические данные более ограничены, чем инструментальные данные с 1850 года, как во времени, так и в пространстве, поэтому для построения глобальных средних величин используются статистические методы, и полученные величины также отличаются неопределенностью. Имеющиеся данные наблюдений слишком ограничены для того, чтобы можно было аналогичным образом оценить температуры в южном полушарии до начала периода инструментальных наблюдений. {6.6, 6.7}

Некоторые исследования, проведенные после ТДО, демонстрируют более высокую многовековую изменчивость в северном полушарии, чем та, что была указана в ТДО, из-за конкретных использованных косвенных источников и особых статистических методов их обработки и (или) масштабирования для воссоздания температур за прошлые периоды. Дополнительная изменчивость подразумевает более холодные условия, в основном в XXII-XIV, XVII и XIX столетиях; эти условия, вероятно, связаны с естественными воздействиями вследствие извержений вулканов и (или) солнечной активности. Например, реконструкции показывают сниженную солнечную активность и повышенную вулканическую активность в XVII веке по сравнению с нынешними условиями. Одна из реконструкций дала несколько более теплые условия в XI веке, нежели указанные в ТДО, однако в пределах тех неопределенностей, которые были отмечены в ТДО. {6.6}

Данные о содержании углекислого газа в кернах льда за последнее тысячелетие накладывают дополнительное ограничение на естественную изменчивость климата. Амплитуды доиндустриальных, десятилетних изменений температуры в северном полушарии, полученные по реконструкциям на основе косвенных источников ($<1^{\circ}\text{C}$), в большой степени соответствуют данным о содержании CO_2 в кернах льда и пониманию силы обратной связи «углеродный цикл – климат». Содержание CO_2 в атмосфере и температура в Антарктиде совместно изменялись за последние 650 тыс. лет. Имеющиеся данные показывают, что CO_2 действует как усиливающая обратная связь. {6.4, 6.6}

Изменения в ледниках очевидны в данных за голоцен, однако эти изменения были вызваны иными процессами, нежели отступление льдов в конце XX века. Ледники нескольких горных регионов северного полушария отступили в ответ на вызванное орбитальным воздействием региональное потепление в период 5000-11000 тыс. лет назад и до 5000-го года были меньше, чем на конец XX века (или даже вообще отсутствовали). Нынешнее почти глобальное отступление горных ледников не может быть обусловлено такими же причинами, потому что уменьшенная летняя инсоляция в северном полушарии за последние несколько тысяч лет должна быть на пользу росту ледников. {6.5}

Палеоклиматические данные предоставляют доказательства изменений климата во многих регионах. Сила и частота событий ЭНСО в прошлом менялась. Есть свидетельства того, что сила азиатского

муссона и, следовательно, количество осадков могут резко изменяться. Палеоклиматические данные по северной и восточной Африке и Северной Америке показывают, что периодической особенностью климата в этих регионах является засуха, которая длится от нескольких десятилетий до нескольких столетий, так что последние случаи засухи в Северной Америке и северной части Африки не являются беспрецедентными. Отдельные комплекты палеоклиматических данных с десятилетним разрешением подтверждают существование региональной квазипериодической изменчивости климата, но маловероятно, чтобы эти региональные сигналы были согласованы в глобальном масштабе. {6.5, 6.6}

Убедительные доказательства, вытекающие из данных океанских отложений и моделирования, связывают резкие изменения климата за последний ледниковый период и переход от ледникового периода к межледниковью с изменениями в циркуляции Атлантического океана. Нынешнее понимание предполагает, что океанская циркуляция может быть нестабильной и быстро меняться при превышении критических порогов. Эти события повлияли на температуру в Гренландии, которая повысилась в некоторых случаях до 16°C, а также на характер тропических ливней. Они были связаны, возможно, с перераспределением тепла между северным и южным полушариями, а не со значительными изменениями глобальной средней температуры. Такие события не наблюдались за последние 8000 лет. {6.4}

Уверенность в понимании минувших изменений климата и изменений орбитального воздействия укрепляется улучшенной способностью нынешних моделей воспроизводить климатические условия прошлого. Последний ледниковый максимум (ПЛМ; последний «ледниковый период» около 21 тыс. лет назад) и средний голоцен (6000 тыс. лет назад) отличались от нынешнего климата не только из-за случайной изменчивости, но и из-за измененного сезонного и глобального воздействия, связанного с известными различиями в орбите Земли (см. вставку TS.6). Биогеохимические и биогеофизические обратные связи усилили реакцию на орбитальные воздействия. Сравнения между моделированными и реконструированными условиями в ПЛМ демонстрируют, что модели учитывают широкие особенности предполагаемых изменений в динамике температуры и осадков. Для среднего голоцена сопряженные модели климата могут имитировать среднеширотное потепление и усиление муссонов при незначительных изменениях

средней температуры (<0,4°C), соответствующее нашему пониманию орбитального воздействия. {6.2, 6.4, 6.5, 9.3}

Глобальный средний уровень моря был, вероятно, на 4-6 и более метров выше в последний межледниковый период, около 125 тыс. лет назад, в основном благодаря отступлению полярного льда (рис. TS.21). Данные кернов льда показывают также, что средние полярные температуры в то время были на 3°C - 5°C выше, чем в XX веке, из-за различий в орбите Земли. На долю Гренландского ледового щита и других арктических ледяных полей пришлось, вероятно, не более 4 м из общего наблюдаемого повышения уровня моря, что означает, что, возможно, свой вклад внесла и Антарктида. {6.4}

TS.4 Понимание и объяснение причин изменения климата

Объяснение причин – это процесс оценки соответствия наблюдаемых изменений количественным реакциям на различные воздействия, полученные в хорошо проверенных моделях, и несоответствия альтернативным физически правдоподобным объяснениям. В Первом докладе МГЭИК об оценках (ПДО) было мало эмпирических данных об обнаруживаемом антропогенном влиянии на климат. Шесть лет спустя, во Втором докладе МГЭИК об оценках (ВДО), был сделан вывод о том, что баланс доказательств показывает заметное влияние человека на климат XX века. В ТДО присутствовал вывод о том, что «большой частью наблюдаемое за последние 50 лет потепление, вероятно, было обусловлено повышением концентрации парниковых газов». Уверенность в оценке антропогенных вкладов в недавнее изменение климата сильно укрепилась после ТДО, частично благодаря более сильным сигналам, полученным из данных более длительных рядов, и расширенному и улучшенному диапазону наблюдений, позволяющему более полно провести объяснение причин потепления вместе с другими изменениями в климатической системе. Некоторые очевидные несоответствия в результатах наблюдений (например, в вертикальном профиле изменений температуры) в значительной степени устранены. Имели место улучшения в моделировании многих аспектов нынешнего среднего климата и его изменчивости во внутривековых временных масштабах, хотя неопределенности остаются (см. вставку TS.7). Сейчас в моделях используются

Вставка TS.7. Оценка моделей общей циркуляции системы «атмосфера-океан»

Модели общей циркуляции системы «атмосфера-океан» (МОЦАО) – главный инструмент для понимания и объяснения причин вариаций климата в прошлом и для проекций на будущее. Поскольку исторических возмущений радиационного воздействия, которые были бы полностью аналогичны антропогенным возмущениям, ожидаемым в XXI веке, нет, то уверенность в моделях необходимо черпать из ряда косвенных методов, описанных ниже. В каждой из этих областей со времени ТДО достигнуты существенные успехи, что повышает общую уверенность в моделях. {8.1}

Расширенная проверка и анализ поведения моделей осуществляются с помощью координируемых на международном уровне усилий по сбору и распространению результатов модельных экспериментов, проводимых в общих условиях. Это способствовало более комплексной и открытой оценке моделей, охватывающей широкое многообразие мнений. {8.1}

Проекция для различных масштабов и периодов с помощью моделей глобального климата. Модели климата выдают проекции климата на несколько десятилетий вперед и далее. Поскольку детали отдельных метеорологических систем не отслеживаются и не предсказываются, то начальные атмосферные условия гораздо менее важны, чем для моделей прогнозов погоды. Для проекций климата гораздо более важны воздействия. Эти воздействия включают количество солнечной энергии, достигающей Земли, количество твердых частиц, выброшенных в атмосферу при извержениях вулканов, концентрации антропогенных газов и частиц в атмосфере. Поскольку область интереса перемещается с глобального на региональный уровень и далее на локальный, т.е. временной масштаб, представляющий интерес, укорачивается, то амплитуда изменчивости, привязанная к погоде, повышается относительно сигнала о долговременном изменении климата. Это затрудняет выявление сигнала изменения климата в меньших масштабах. Условия в океанах тоже важны, особенно для межгодового и десятилетнего временных масштабов. {ЧЗВ 1.2, 9.4, 11.1}

Построение моделей. Построение МОЦАО развилось благодаря повышению пространственного разрешения и улучшениям в численных схемах и параметризации (например, морского льда, пограничного слоя атмосферы, перемешивания океана). Во многие модели включается больше процессов, в том числе ряд ключевых процессов, важных для воздействия (например, во многих моделях теперь интерактивно моделируются аэрозоли). В большинстве моделей сейчас поддерживается стабильный климат без применения поправок на потоки, хотя в контрольных интегрированиях МОЦАО все же остаются долгосрочные тренды, например, из-за медленных процессов в океане. {8.2, 8.3}

Моделирование текущего климата. В результате усовершенствований в построении МОЦАО были достигнуты улучшения в моделировании многих аспектов текущего среднего климата. Моделирование осадков, давления на уровне моря и приземной температуры повсеместно улучшилось, но недостатки все же остаются, особенно в отношении тропических осадков. Хотя продолжают присутствовать определенные недостатки в моделировании облаков (и соответствующих обратных связях, влияющих на чувствительность климата), некоторые модели продемонстрировали улучшения в моделировании некоторых режимов облачности (в частности, слоисто-кучевых облаков над морем). Моделирование экстремальных явлений (особенно экстремальных температур) также улучшилось, но модели имитируют, как правило, слишком заниженное количество осадков в самых экстремальных явлениях. Улучшилось моделирование внетропических циклонов. Некоторые модели, используемые для проекций изменений в тропических циклонах, могут успешно имитировать наблюдаемую частоту и распределение тропических циклонов. Достигнуты улучшения в моделировании структуры водной массы океана, меридиональной опрокидывающей циркуляции, переноса тепла в океане. Большинство моделей, однако, отличаются некоторыми погрешностями в моделировании Южного океана, что ведет к неопределенности в моделированном объеме поглощения тепла океаном при изменении климата. {8.3, 8.5, 8.6}

Моделирование режимов изменчивости климата. Модели имитируют преобладающие режимы изменчивости внетропического климата, которые напоминают наблюдаемые режимы (СКР/ЮКР, ТСА, ТДК), но у них все равно есть проблемы с представлением характеристик этих режимов. Некоторые модели могут имитировать важные аспекты ЭНСО, тогда как моделирование колебания Маддена-Джулиана остается в общем неудовлетворительным. {8.4}

Моделирование вариаций климата в прошлом. Достигнуты успехи в моделировании вариаций климата в прошлом. Независимо от причин этих изменений, способность моделей климата давать физически самосогласованное объяснение наблюдаемых вариаций климата в разных временных масштабах создает уверенность в том, что эти модели учитывают многие ключевые процессы, играющие роль в эволюции климата XXI столетия. Среди последних достижений – успех в моделировании наблюдаемых изменений более широкого набора переменных климата за 20 столетие (например, приземных температур и температурных экстремумов континентального масштаба, площади морского

льда, трендов теплосодержания океана, количества осадков на суше). Достигнут прогресс в способности моделировать многие из общих особенностей минувших, очень отличающихся от нынешних, состояний климата, таких как середина голоцена и ПЛМ, с помощью моделей, идентичных или родственных тем, которые применяются для изучения текущего климата. Информация о факторах, рассматриваемых как граничные условия в палеоклиматических расчетах, включает различные состояния ледовых щитов в эти периоды. Широкие проекции более ранних климатических режимов, повышения глобальных температур в ответ на повышение концентрации парниковых газов подкрепляются последующими наблюдениями. Это укрепляет уверенность в краткосрочных проекциях климата и понимание соответствующей инерции изменений климата. {6.4, 6.5, 8.1, 9.3–9.5}

Прогнозирование погоды и сезонное прогнозирование по моделям климата. Несколько моделей климата проверялись (и показали успешные результаты) на предмет возможного прогнозирования начальных значений во временных масштабах от прогнозирования погоды (несколько дней) до сезонных вариаций климата, при условии инициализации соответствующими наблюдениями. Хотя прогнозирующая способность моделей в данном режиме работы не обязательно предполагает, что они покажут правильную реакцию на изменения в факторах, воздействующих на климат, таких как парниковые газы, это все же повышает уверенность в том, что они надлежащим образом представляют некоторые ключевые процессы и дальние связи в климатической системе. {8.4}

Показатели точности модельных проекций. Возможность разработки показателей качества моделей («метрик») на основе вышеизложенных методов оценки, с помощью которой можно сузить неопределенность путем наложения качественных ограничений на модельные проекции климата, впервые была исследована с помощью ансамблей моделей. Хотя эти методы вселяют оптимизм, проверенный набор показателей еще предстоит разработать. {8.1, 9.6, 10.5}

более детальные представления процессов, связанных с аэрозолями и другими воздействиями. В моделировании изменения климата XX века использовалось намного больше моделей и намного больше антропогенных и естественных воздействий – причем намного более полных – чем в ТДО. Имеющиеся многомодельные ансамбли повышают степень уверенности в результатах объяснения причин, давая улучшенное представление неопределенности моделей. Антропогенный сигнал более четко появился в официальных исследованиях причин изменения аспектов климатической системы, помимо атмосферной температуры глобального масштаба, включая изменения теплосодержания глобального океана, температурные тренды континентального масштаба, температурные экстремумы, циркуляцию, площадь арктического морского льда. {9. 1}

TS.4.1 Достижения в объяснении причин изменений температуры глобального масштаба в период инструментальных наблюдений: атмосфера, океан и лед

Антропогенное потепление климатической системы широко распространено и может быть выявлено в температурных наблюдениях на поверхности, в свободной атмосфере и в океанах. {3.2, 3.4, 9.4}

Доказательства влияния внешних воздействий, как антропогенных, так и естественных, на

климатическую систему продолжали накапливаться со времени выхода ТДО. Усовершенствования моделей и данных, ансамблевое моделирование, улучшенное представление воздействий аэрозолей и парниковых газов, наряду с другими воздействиями, приводят к повышению уверенности в том, что большинство нынешних моделей воспроизводят крупномасштабную принудительную изменчивость атмосферы в десятилетнем и внутривековом временных масштабах довольно хорошо. Эти достижения подтверждают, что на вариации климата в больших пространственных масштабах в прошлом сильно влияли внешние воздействия. Вместе с тем, продолжают оставаться неопределенности в порядке величины и временной оценке расчетных вкладов отдельных иных воздействий, нежели хорошо перемешанные парниковые газы, вследствие, например, неопределенностей в реакциях моделей на воздействие. Некоторые потенциально важные воздействия, такие как сажевые аэрозоли, в большинстве официальных исследований по выявлению и объяснению причин изменения климата еще не учитываются. В оценках естественной внутренней изменчивости климата остаются неопределенности. Например, существуют несоответствия между оценками изменчивости теплосодержания океана, полученными при моделировании и путем наблюдений, хотя это несоответствие может быть объяснено плохим охватом частей мирового океана. Кроме того,

ГЛОБАЛЬНОЕ И КОНТИНЕНТАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

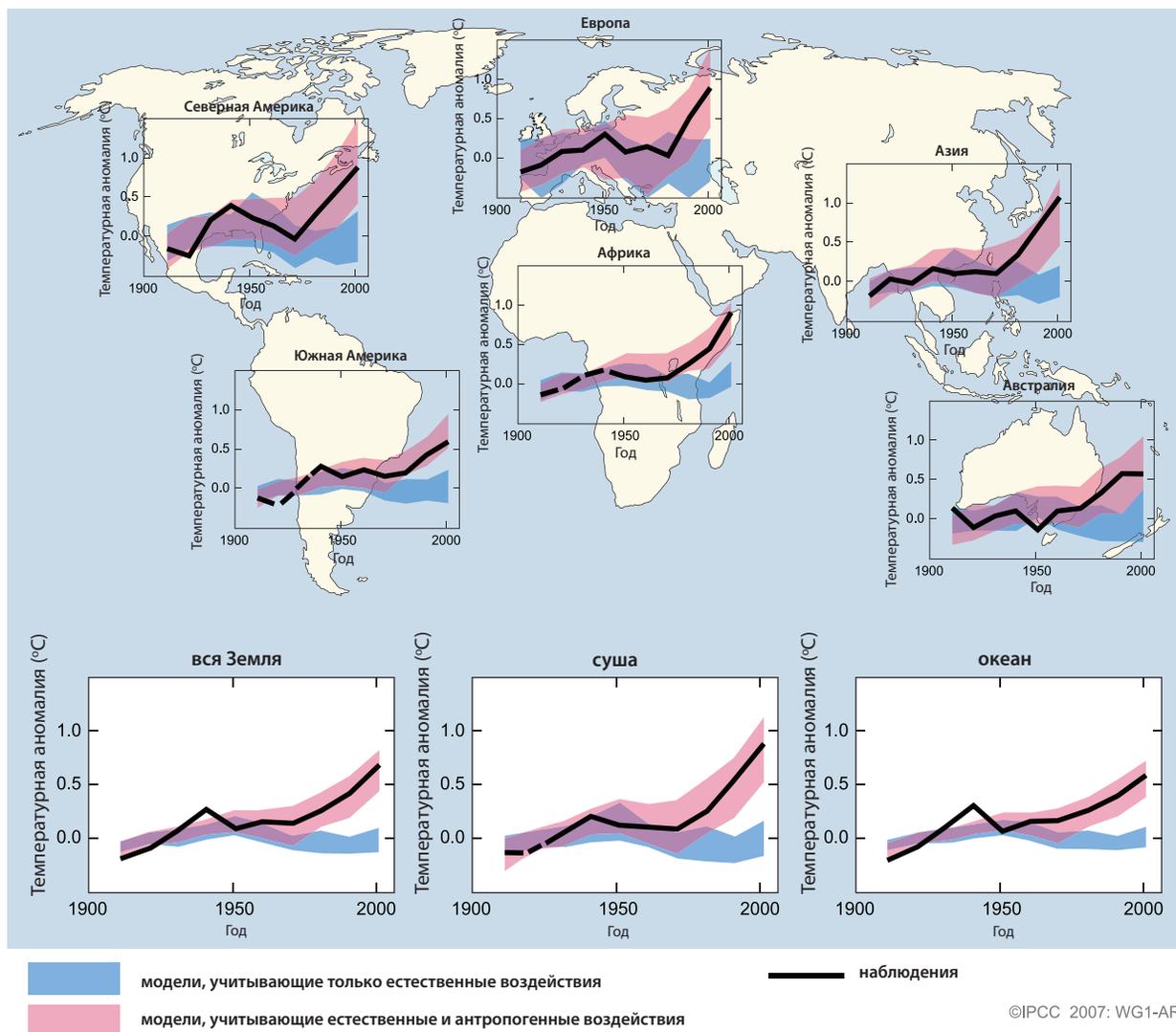


Рис. TS.22. Сравнение наблюдаемых изменений приземной температуры континентального и глобального масштабов; результаты получены с помощью моделей климата, учитывающих естественные и антропогенные воздействия. Десятилетние средние значения наблюдений показаны за период 1906-2005 гг. (черная линия); они построены от середины десятилетия и относительно соответствующего среднего значения за 1901-1950 гг. Прерывистые линии даны там, где пространственный охват менее 50%. Голубые полосы отражают диапазон 5-95% 19 построений по пяти моделям климата, которые учитывают только естественные воздействия вследствие солнечной и вулканической активности. Красные полосы отражают диапазон 5-95% 58 построений по 14 моделям климата, которые учитывают и естественные, и антропогенные воздействия. Источники данных и модели описаны в разделе 9.4, ЧЗВ 9.2, табл. 8.1 и в дополнительной информации к главе 9. {ЧЗВ 9.2, рис. 1}

внутреннюю изменчивость трудно оценить на основе имеющихся рядом наблюдений, потому что на них влияет внешнее воздействие и потому что эти ряды недостаточно длительны, если речь идет об инструментальных данных, и не являются достаточно точными в случае косвенных реконструкций для того, чтобы дать полные описания изменчивости в десятилетних и более продолжительных временных масштабах (см. рис. TS.22 и вставку TS.7). {8.2-8.4, 8.6, 9.2-9.4}

Крайне маловероятно (<5%), что глобальный характер потепления, наблюдаемого в последние

полстолетия, можно объяснить без внешнего воздействия. Эти изменения происходили за период, когда неантропогенные воздействующие факторы (т.е. сумма солнечного и вулканического воздействия), вероятно, вызвали бы похолодание, а не потепление (см. рис. TS.23). Исследования причинно-следственных связей показывают, что весьма вероятно, что эти естественные воздействующие факторы сами по себе не могут вызвать наблюдаемое потепление (см. рис. TS.23). Есть также повышенная уверенность в том, что естественная внутренняя изменчивость не может вызывать наблюдаемые

изменения, частично основанная на расширенных исследованиях, которые демонстрируют, что потепление происходило и в океанах, и в атмосфере, вместе с наблюдаемыми потерями ледовой массы. {2.9, 3.2, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}

Весьма вероятно, что повышение концентрации антропогенных парниковых газов вызвало большую часть наблюдаемого повышения глобальных средних температур с середины XX века. Без охлаждающего эффекта атмосферных аэрозолей сами парниковые газы, вероятно, вызвали бы более существенное повышение глобальной средней температуры по сравнению с наблюдавшейся за последние 50 лет. Ключевой фактор в определении наличия признаков аэрозолей и, следовательно, степени охлаждения, противодействующего парниковому потеплению, - изменение температуры во времени (см. рис. TS.23), а также контраст в потеплении между полушариями. Вывод о том, что воздействие парниковых газов преобладает, учитывает неопределенности наблюдений и воздействий и надежен для использования разных моделей климата, разных методов оценки реакции на внешнее воздействие и разных приемов анализа. Он также допускает возможное усиление реакции на солнечное воздействие. {2.9, 6.6, 9.1, 9.2, 9.4}

Повсеместное потепление выявлено в температурах океанов. Официальные исследования причинно-следственных связей сейчас показывают, что антропогенное воздействие, вероятно, способствовало наблюдаемому потеплению в верхних нескольких сотнях метров мирового океана во второй половине XX столетия. {5.2, 9.5}

Антропогенное воздействие, вероятно, способствовало недавнему уменьшению площади арктического морского льда. Ожидаются изменения в арктическом морском льду, учитывая наблюдаемое расширение арктического потепление. Исследования причинно-следственных связей и более совершенное моделируемое представление теплопередачи в морском льде и океане укрепляют уверенность в этом выводе. {3.3, 4.4, 8.2, 8.3, 9.5}

Весьма вероятно, что реакция на антропогенное воздействие способствовала повышению уровня моря во второй половине XX века, однако десятилетняя изменчивость повышения уровня моря остается недостаточно понятой. Смоделированные оценки вклада теплового расширения в повышение уровня моря согласуются с оценками, основанными на наблюдениях за период 1961-2003 годы, хотя баланс повышения уровня моря за этот период не подведен. Наблюдаемое повышение темпов

потери массы ледников и ледяных шапок является пропорциональным повышению глобальной средней температуры, как ожидается качественно из физических соображений (см. табл. TS.3). Более высокие темпы повышения уровня моря в 1993-2003 годах по сравнению с 1961-2003 годами могут быть связаны с увеличением антропогенного воздействия, которое, вероятно, содействовало наблюдаемому потеплению в верхних слоях океана и обширному отступлению ледников. С другой стороны, мареографические данные наблюдений за глобальным средним уровнем моря показывают, что аналогично высокие темпы роста, возможно, имели место в предыдущие 10-летние периоды после 1950 года, подразумевая, что естественная внутренняя изменчивость тоже могла быть фактором высоких темпов роста в период 1993-2003 годы. Наблюдаемая десятилетняя изменчивость в мареографических данных больше, чем может быть объяснено изменчивостью в основанных на наблюдениях оценках теплового расширения и изменений материкового льда. Кроме того, наблюдаемая десятилетняя изменчивость теплового расширения больше, чем дали модели на XX век. Таким образом, физические основы изменчивости, наблюдаемой в рядах мареографических наблюдений, неопределенны. Эти нерешенные вопросы, связанные с изменением уровня моря и его десятилетней изменчивостью за 1961-2003 годы, не позволяют понять, какая часть повышения уровня моря за 1993-2003 годы обусловлена естественной внутренней изменчивостью, а какая – антропогенным изменением климата. {5.5, 9.5}

TS.4.2 Объяснение причин пространственных и временных изменений температуры

Наблюдаемый характер тропосферного потепления и стратосферного похолодания, весьма вероятно, обусловлен влиянием антропогенного воздействия, особенно того, которое вызвано повышением концентрации парниковых газов и истощением стратосферного озона. Новый анализ после ТДО показывает, что этот характер соответствует увеличению высоты тропопаузы, что, вероятно, в значительной степени обусловлено изменениями концентраций парниковых газов и стратосферного озона. Значительная неопределенность остается в оценке тропосферных температурных трендов, особенно по данным, полученным с радиозондов. {3.2, 3.4, 9.4}

Вероятно, что с середины XX века имеет место значительный антропогенный вклад в повышение

приземной температуры, усредненное по каждому континенту, кроме Антарктиды. Антарктида имеет недостаточный охват наблюдениями для того, чтобы сделать оценку. Антропогенное потепление также выявлено в некоторых субконтинентальных районах суши. Способность сопряженных моделей климата моделировать эволюцию температуры на каждом из шести континентов дает более веское доказательство влияния человека на глобальный климат, чем этого было в ТДО. Ни одна сопряженная глобальная модель климата, использующая только естественное воздействие, не воспроизвела наблюдаемый тренд глобального среднего потепления или же континентальные средние тренды потепления на отдельных континентах (кроме Антарктиды) за вторую половину XX века. {9.4}

Остаются сложности в объяснении причин температурных изменений в масштабах меньше континентального и во временных масштабах меньше 50 лет. Причинно-следственные связи в этих масштабах не установлены, за ограниченными исключениями. Усреднение по меньшим регионам сокращает естественную изменчивость меньше, чем усреднение по большим регионам, что затрудняет различение изменений, ожидаемых от внешнего воздействия и изменчивости. Кроме того, изменения температуры, связанные с некоторыми режимами изменчивости, плохо моделируются в некоторых регионах и в некоторые времена года. Далее, мелкомасштабные детали внешнего воздействия и реакции, имитируемые моделями, менее достоверны, чем крупномасштабные. {8.3, 9.4}

Аномалии глобальной средней приземной температуры

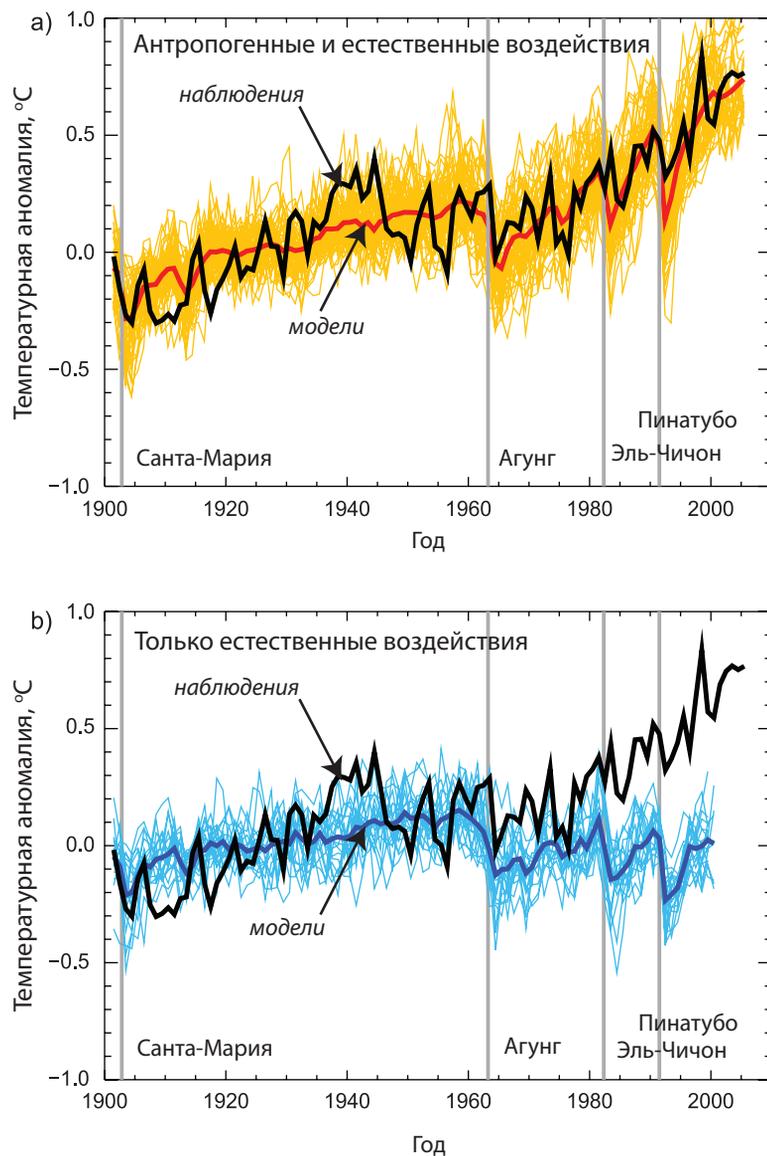


Рис. TS.23. (а) Аномалии глобальной средней приземной температуры за 1901-1950 гг. по наблюдениям (черная линия) и по результатам моделирования с учетом и антропогенных, и естественных воздействий. Толстая красная кривая показывает многомодельное среднее по ансамблю, а тонкие желтые линии – результаты отдельных моделей. Вертикальные серые линии отображают время значительных вулканических явлений. (б) Как в (а), за исключением того, что моделируемые аномалии глобальной средней температуры даны только для естественных воздействий. Толстая синяя кривая показывает многомодельное среднее по ансамблю, а тонкие синие линии – результаты отдельных моделей. Каждый случай моделирования отобран так, чтобы охват соответствовал охвату наблюдений

© IPCC 2007: WG1-AR4

На экстремумы приземной температуры, вероятно, повлияло антропогенное воздействие. Многие показатели экстремумов, в том числе годовые количества и максимальные значения теплых и холодных дней и ночей, а также количества морозных дней, демонстрируют изменения, согласующиеся с потеплением. Антропогенное влияние обнаружено в некоторых из этих показателей, и есть доказательства того, что антропогенное воздействие, возможно, существенно повысило риск экстремально теплых летних условий в региональном масштабе, таких как волна тепла в Европе в 2003 году. {9.4}

TS.4.3 Объяснение причин изменений в циркуляции, осадках и других переменных климата

Тренды в Северном и Южном кольцевых режимах за последние десятилетия, которые соответствуют снижению давления на уровне моря над полюсами и связанным с этим изменениям в атмосферной циркуляции, вероятно, частично связаны с деятельностью человека (см. рис. TS.24). Модели воспроизводят знак тренда СКР, однако смоделированная реакция меньше наблюдаемой. Модели, учитывающие изменения и в парниковых

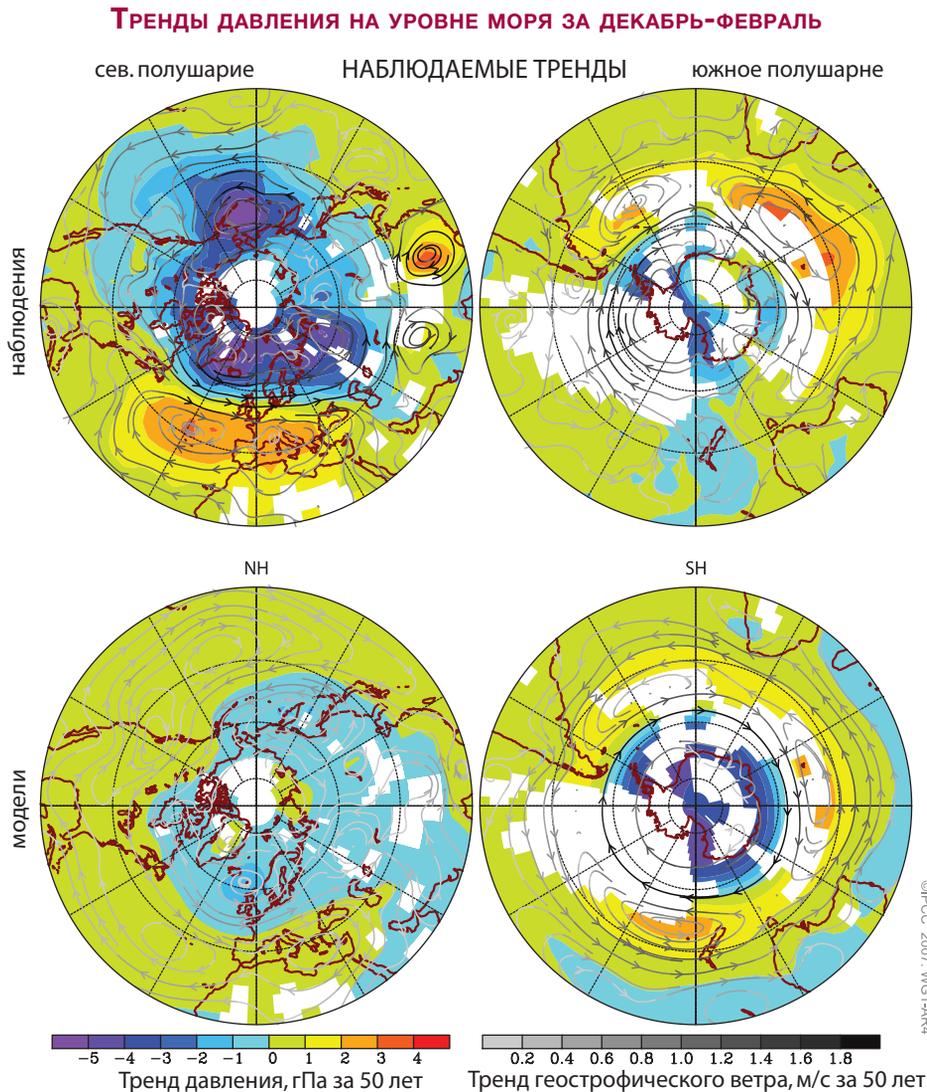


Рис. TS.24. Тренды давления на уровне моря за декабрь-февраль, построенные по десятилетним средним значениям за период 1955-2005 гг. (Вверху) Тренды, рассчитанные по данным наблюдений и показанные для регионов, где есть охват наблюдениями. (Внизу). Средние тренды, смоделированные в ответ на изменения естественных и антропогенных воздействий в восьми сопряженных моделях. Смоделированные тренды показаны только там, где показаны тренды, основанные на наблюдениях. Линии тока, которые не маскированы, означают направление трендов в геострофическом ветре, выведенное из трендов давления на уровне моря, а затенение линий тока означает порядок величины изменения, при этом более темные линии тока соответствуют более значительным изменениям в геострофическом ветре. Источники данных и модели описаны в главе 9 и дополнительном материале к ней, а детали моделей приведены в табл. 8.1. {Рис. 9.16}

газах, и в стратосферном озоне, имитируют реалистичный тренд в ЮКР, что дает в результате обнаруживаемое антропогенное влияние на глобальное давление на уровне моря, которое также соответствует наблюдаемому тренду похолодания в приземном климате над некоторыми частями Антарктиды. Эти изменения в циркуляции в полушариях и их отнесение на счет деятельности человека означают, что антропогенные эффекты, вероятно, способствовали изменениям в средне- и высокоширотных структурах циркуляции и температуры, а также изменениям в ветрах и траекториях циклонов. Количественные эффекты, однако, неопределенные, потому что смоделированные реакции на изменение воздействий в XX веке в северном полушарии согласуются только качественно, а не количественно, с наблюдениями за этими переменными. {3.6, 9.5, 10.3}

Есть некоторые доказательства влияния внешних воздействий на гидрологический цикл. Наблюдаемый крупномасштабный характер изменений в осадках на суше в XX столетии качественно согласуется с результатами моделирования, что предполагает влияние человека. Наблюдаемый глобальный тренд в направлении увеличения частоты засух во второй половине XX века воспроизведен в модели с учетом антропогенных и естественных воздействий. В ряде исследований показано, что маловероятно, чтобы изменения в землепользовании, вызванные, к примеру, перевыпасом и корчеванием лесов под сельскохозяйственные угодья, были основной причиной засухи в Сахеле и Австралии. Сравнения между наблюдениями и моделями показывают, что изменения в муссонах, интенсивности бурь и дождей в Сахеле связаны, по крайней мере частично, с изменениями в наблюдаемых ТПМ. На изменения в глобальных ТПМ, как ожидается, будут влиять антропогенные воздействия, однако связи региональных изменений ТПМ с воздействием не установлено. Изменения в количестве дождевых осадков зависят не просто от ТПМ, но и от изменений в пространственных и временных режимах ТПМ и региональных изменений в атмосферной циркуляции, что затрудняет отнесение этих последствий на счет антропогенного влияния. {3.3, 9.5, 10.3, 11.2}

TS.4.4 Палеоклиматические исследования причин изменения климата

Весьма вероятно, что изменения климата в течение минимум семи столетий до 1950 года не были обусловлены одной лишь невынужденной изменчивостью. Исследования по обнаружению и объяснению причин изменения климата показывают, что значительную долю доиндустриальной внутривековой температурной изменчивости в северном полушарии, которая содержится в реконструкциях за эти столетия, весьма вероятно, можно отнести на счет естественного внешнего воздействия. Такое воздействие включает эпизодическое похолодание вследствие известных извержений вулканов, число которых было больше, чем в XX веке (исходя из таких свидетельств, как керны льда), и долгосрочных колебаний потока солнечного излучения, таких как снижение радиации во время минимума Маундера. Кроме того, вероятно, что антропогенное воздействие способствовало потеплению в начале XX века, очевидно из этих данных. Неопределенности вряд ли приведут к кажущейся согласованности между реконструкциями температур и реконструкциями воздействий, выведенными из независимых косвенных источников данных. Для проведения подобной оценки в отношении южного полушария данных недостаточно. {6.6, 9.3}

TS.4.5 Реакция климата на радиационное воздействие

Указание вероятного диапазона и наиболее вероятного значения для равновесной чувствительности климата⁸ в этом докладе является значительным прогрессом в количественном описании реакции климатической системы на радиационное воздействие со времени ТДО, шагом вперед в решении проблем понимания, стоявших более 30 лет. Диапазон равновесной чувствительности климата – равновесного глобального среднего потепления, ожидаемого в случае сохранения концентраций CO₂ на уровне, вдвое превышающем доиндустриальный (около 550 ppm) – был задан в ТДО как 1,5°C – 4,5°C. Раньше было невозможно дать наилучшую оценку или оценить вероятность того, что чувствительность климата могла бы выпасть из упомянутого диапазона. В данной оценке применяются несколько методов ограничения чувствительности климата,

⁸ Определение термина «чувствительность климата» см. в Глоссарии.

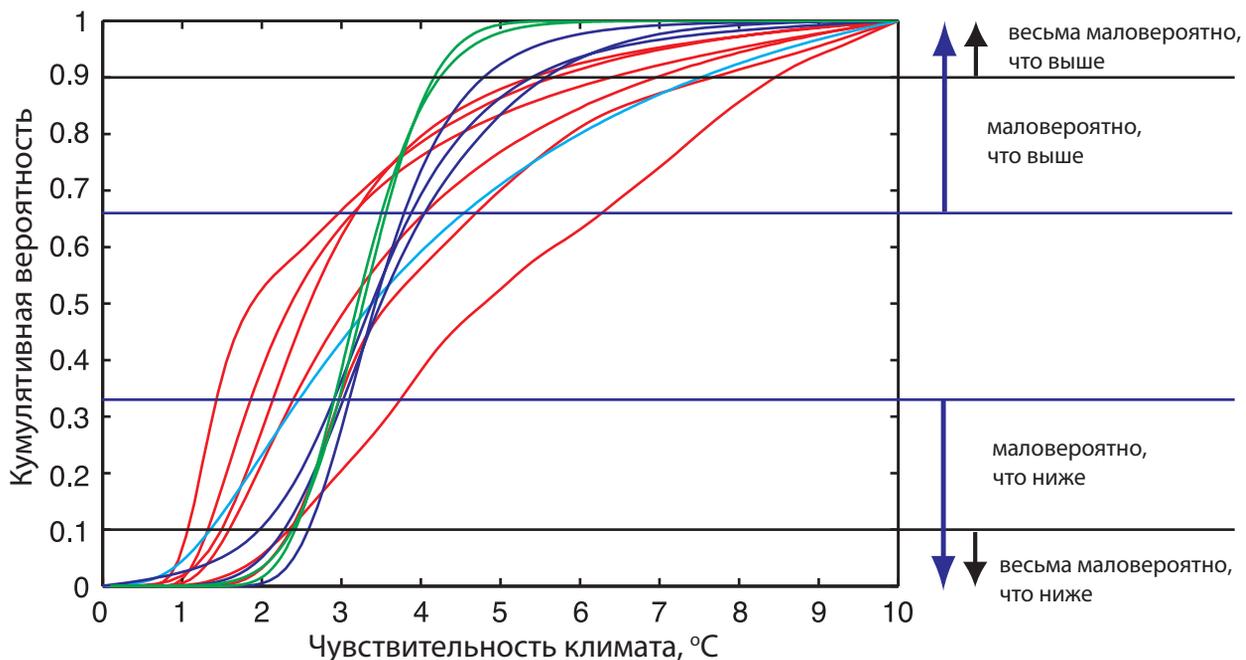
включая использование МОЦАО, исследование переходной эволюции температуры (приземной, в верхних слоях атмосферы и океана) за последние 150 лет, исследование быстрой реакции глобальной климатической системы на изменения в воздействии, вызванные извержениями вулканов (см. рис. TS.25). Эти методы дополняются оценками, основанными на палеоклиматических исследованиях, таких как реконструкции измерений температур в северном полушарии за последнее тысячелетие и ПЛМ. Большие ансамбли моделей климата показали, что способность моделей имитировать текущий климат ценна для ограничения чувствительности климата. {8. 1, 8.6, 9.6, вставка 10.2}

Анализ на моделях вместе с ограничениями из наблюдений показывает, что равновесная чувствительность климата, вероятно, находится в диапазоне от 2°C до 4,5°C, а значение наилучшей оценки равно около 3°C. Весьма маловероятно, чтобы она была ниже 1,5°C. Значения, существенно больше 4,5°C, исключать нельзя, однако согласованность этих значений с наблюдениями не так хороша. Плотности распределения вероятностей, выведенные из разной информации и методик, в общем имеют длинный хвост в направлении больших значений, выше 4,5°C.

Анализ эволюции климата и воздействий за предыдущие столетия и модельные ансамблевые исследования не исключают, что чувствительность климата может быть даже 6°C или выше. Одним из факторов здесь является возможность небольшого результирующего радиационного воздействия в течение XX века, если бы косвенный охлаждающий эффект аэрозолей находился на верхнем конце их области неопределенности, аннулируя таким образом большую часть положительного воздействия, вызванного парниковыми газами. Нет, однако, хорошо обоснованного метода оценки единой плотности распределения вероятностей по отдельным результатам с учетом разных допущений, сделанных в каждом исследовании. Отсутствие сильных ограничений на высокую чувствительность климата не дает возможности задать привязанный к 95-му перцентилю или весьма вероятный диапазон чувствительности климата. {Вставка 10.2}

Благодаря улучшенному анализу и сравнению моделей друг с другом и с наблюдениями сейчас есть повышенная степень уверенности в понимании ключевых климатических процессов, важных для чувствительности. Изменения содержания водяного пара преобладают в обратных связях,

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КУМУЛЯТИВНЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КЛИМАТА



©IPCC 2007: WG1-AR4

Рис. TS.25. Распределение кумулятивных вероятностей чувствительности климата, выведенное из наблюдаемого потепления за XX век (красный), модельной климатологии (синий), косвенных источников (голубой), чувствительности климата по МОЦАО (зеленый). Горизонтальные линии и стрелки обозначают границы оценок правдоподобия, определенные в Руководящих принципах по оценке неопределенностей, прилагаемых к Четвертому докладу МГЭИК об оценках (см. вставку TS. 1). {Вставка 10.2, рис. 1 и 2}

влияющих на чувствительность климата, и сейчас они лучше поняты. Новые свидетельства, полученные благодаря наблюдениям и моделированию, убедительно подтверждают наличие объединенной обратной связи между водяным паром и вертикальным градиентом⁹, сила которой приблизительно равна силе, выявленной в моделях общей циркуляции (МОЦ), т.е. приблизительно 1 Вт/м² на градус повышения глобальной температуры, что соответствует около 50% усиления глобального среднего потепления. Такие МОЦ продемонстрировали способность моделировать сезонные и внутривековые колебания влажности в верхних слоях тропосферы над сушей и океаном и успешно моделировали наблюдаемые изменения приземной температуры и влажности, связанные с извержениями вулканов. Обратные связи по облакам (особенно по нижнему ярусу) остаются наибольшим источником неопределенности. Криосферные обратные связи, такие как изменения снежного покрова, как показали исследования, меньше способствуют разбросу в модельных оценках чувствительности климата, чем обратные связи по облакам или водяному пару, но они могут быть важными для региональных реакций климата в средних и высоких широтах. Новое сравнение между моделями показывает, что различия в

Табл. TS.5. Наилучшая оценка, вероятные диапазоны и весьма вероятные нижние пределы повышения глобальной средней равновесной приземной температуры (°C) над доиндустриальными температурами для разных уровней CO₂-эквивалентного радиационного воздействия, выведенных из чувствительности климата.

Равновесие CO ₂ -равн. (ppm)	Повышение температуры (°C)		
	Наилучш. оценка	Весьма вероятно что выше	Вероятно в диапазоне
350	1.0	0.5	0.6–1.4
450	2.1	1.0	1.4–3.1
550	2.9	1.5	1.9–4.4
650	3.6	1.8	2.4–5.5
750	4.3	2.1	2.8–6.4
1000	5.5	2.8	3.7–8.3
1200	6.3	3.1	4.2–9.4

формулировках переноса радиации также влияют на этот диапазон. {3.4, 8.6, 9.3, 9.4, 9.6, 10.2, вставка 10.2}

Улучшенное количественное представление чувствительности климата позволяет получить наилучшие оценки равновесных температур и диапазонов, которых можно было бы ожидать, если бы концентрации CO₂ стабилизировались на разных уровнях, исходя из факторов глобального энергетического баланса (см. табл. TS.5). Как и в оценке чувствительности климата, весьма вероятный верхний предел установить невозможно. Следует отметить ограничения концепции радиационного воздействия и чувствительности климата. Лишь немногие МОЦАО в ходе прогона дошли до равновесия при повышенных концентрациях CO₂, а некоторые результаты показывают, что климатические обратные связи могут изменяться в больших временных масштабах, приводя к существенным отклонениям от оценок потепления на основе равновесной чувствительности климата, выведенных из моделей слоя перемешивания океана и изменения климата в прошлом. {10.7}

Согласованность между модельными проекциями переходного изменения климата также улучшилась со времени ТДО. Диапазон переходных реакций климата (определенный как глобальная средняя приземная температура воздуха, усредненная за 20-летний период, с центром в точке удвоения концентрации CO₂ при экспериментальном повышении на 1% за год) между моделями меньше, чем диапазон равновесной чувствительности климата. Этот параметр сейчас лучше ограничен многомодельными ансамблями и сравнениями с наблюдениями: весьма вероятно, что он больше 1°C, и весьма маловероятно, что больше 3°C. Переходная реакция климата связана с чувствительностью нелинейной зависимостью таким образом, что высокая чувствительность не сразу же проявляется в краткосрочной реакции. На переходную реакцию климата сильно влияет скорость поглощения тепла океаном. Хотя модели океана стали более совершенными, систематические ошибки в моделях и ограниченные данные о температуре океана для оценки переходного поглощения тепла океаном влияют на точность текущих оценок. {8.3, 8.6, 9.4, 9.6, 10.5}

⁹ Скорость, с которой температура воздуха с высотой уменьшается

TS.5 Прогнозирование будущих изменений климата

Со времени ТДО сделано много важных шагов вперед в составлении проекций в отрасли науки об изменении климата. Инициированы беспрецедентные усилия для того, чтобы предоставить новые результаты моделирования для немедленной проверки исследователями вне центров моделирования. Четырнадцать групп моделирования по МОЦАО из 10 стран провели ряд согласованных, стандартных экспериментов с использованием 23 моделей. Полученная в итоге многомодельная база данных результатов, проанализированных сотнями исследователей по всему миру, образует основу для большей части данной оценки результатов моделей. Многие достижения вытекают из использования

многочленных ансамблей одиночных моделей (например, для проверки чувствительности реакции на начальные условия) и многомодельных ансамблей. Эти два разных типа ансамблей позволяют проводить более надежные исследования диапазона результатов моделей и более широкую оценку моделей в сравнении с наблюдениями, а также дают новую информацию о смоделированной статистической изменчивости. {8.1, 8.3, 9.4, 9.5, 10.1}

Современи ТДО появился ряд методов разработки вероятностных проекций изменения климата, как для глобальных средних, так и для географических описаний, и эти методы являются центром внимания в данном докладе. Среди них – методы, основанные на результатах ансамблей МОЦАО, без формального применения эмпирических ограничений, а также методы, основанные на алгоритмах обнаружения

Вставка TS.8. Иерархия моделей глобального климата

Оценки изменения глобальной средней температуры и повышения уровня моря вследствие теплового расширения можно сделать с помощью простых моделей климата (ПМК), которые представляют систему «океан-атмосфера» как набор глобальных или полушарных блоков и предсказывают глобальную приземную температуру с помощью уравнения энергетического баланса, заданной величины чувствительности климата и базового представления поглощения тепла океаном. Такие модели также могут быть связаны с упрощенными моделями биогеохимических циклов и позволяют быстро оценить реакцию климата на широкий спектр сценариев выбросов. {8.8, 10.5}

Модели системы Земли промежуточной сложности (МСЗПС) учитывают некоторую динамику атмосферной и океанической циркуляций либо их параметризации, а также часто включают представления биогеохимических циклов, но у них обычно пониженное пространственное разрешение. С помощью этих моделей можно исследовать изменение климата в континентальном масштабе и долговременные, крупномасштабные эффекты связи между компонентами системы Земли, используя большие ансамбли прогонов моделей или прогонов за многие столетия. И для ПМК, и для МСЗПС возможно с вычислительной точки зрения тщательно выбрать пространство параметров, учитывая неопределенности параметров, выведенные путем подгонки к более комплексным моделям климата, сопоставляя наблюдения и экспертные оценки. Таким образом, оба типа моделей хорошо подходят для формирования вероятностных проекций будущего климата и позволяют сравнить «неопределенность реакции», вытекающую из неопределенности параметров моделей климата, с «диапазоном сценариев», вытекающим из рассматриваемого диапазона сценариев выбросов. Модели системы Земли промежуточной сложности оценивались более глубоко, чем раньше, и взаимное сравнение продемонстрировало, что они полезны для изучения вопросов, охватывающих длительные временные масштабы или требующих больших ансамблей моделей. {8.8, 10.5, 10.7}

Наиболее всеобъемлющие модели – МОЦАО. Они включают динамические компоненты, описывающие атмосферные, океанические и наземные процессы, а также морской лед и другие компоненты. Со времени ТДО достигнут значительный прогресс (см. вставку TS.7), и сейчас в различных центрах для моделирования климата используется более 20 моделей. Хотя крупномасштабная динамика этих моделей всеобъемлющая, параметризация продолжает использоваться для представления неразрешенных физических процессов, таких как формирование облаков и осадков, перемешивание океана вследствие волновых процессов, формирование водных масс и т.д. Неопределенность параметризации – главная причина того, почему проекции климата в разных МОЦАО различаются. Хотя разрешающая способность МОЦАО быстро повышается, она часто недостаточна для охвата тонкой структуры климатических переменных во многих регионах. В таких случаях результаты МОЦАО можно использовать в моделях по ограниченному району (или в моделях регионального климата), в которых полнота представления процессов, сравнимая с МОЦАО, сочетается с более высоким пространственным разрешением. {8.2}

и на больших модельных ансамблях, которые дают проекции, согласующиеся с наблюдениями за изменением климата и их неопределенностями. Некоторые методы уже прямо учитывают основные источники неопределенностей, такие как климатические обратные связи, поглощение тепла океаном, радиационное воздействие и углеродный цикл. Краткосрочные проекции аналогичным образом ограничены наблюдениями за последними трендами. В некоторых исследованиях были изучены и другие вероятностные вопросы, например, правдоподобие будущих изменений в экстремальных явлениях, таких как волны тепла, которые могут быть вызваны влиянием человека. Со времени ТДО достигнуты успехи также благодаря расширению диапазона исследования инерции изменения климата и обратных связей между углеродным циклом и климатом. {8.6, 9.6, 10.1, 10.3, 10.5}

Эти успехи в области моделирования изменения климата образуют вероятностную базу для выделения проекций изменения климата для различных сигнальных сценариев СДСВ. Этот подход контрастирует с ТДО, где диапазоны различных сигнальных сценариев невозможно было задать вероятностно. В результате в данной оценке выявлена и количественно выражена разница в характере между неопределенностями, которые возникают при моделировании климата, и неопределенностями, которые возникают из отсутствия априорных знаний о решениях,

которые повлияют на выбросы парниковых газов. Результатом объединения вероятностных прогнозов стала бы потеря политически важной информации. По этим причинам прогнозы для разных сценариев выбросов в данном докладе не объединены.

Использованные здесь модели рассматривают реакцию физической климатической системы на ряд возможных будущих условий с помощью идеализированных выбросов или предполагаемых концентраций. Это, в частности, включает эксперименты с парниковыми газами и аэрозолями, концентрация которых удерживается на постоянном уровне 2000 года, эксперименты с повышением концентрации CO_2 вдвое и вчетверо, сигнальные сценарии СДСВ на период 2000-2100 годов, дающие новую информацию о физических аспектах долгосрочного изменения и стабилизации климата. Сценарии СДСВ не включают климатические инициативы. В данной оценке Рабочей группы I правдоподобие или вероятность какого-либо конкретного сценария выбросов не оценивается. {10.1, 10.3}

Новый комплект многомодельных данных, в которых используются модели системы Земли промежуточной сложности (МСЗПС), дополняет эксперименты с МОЦАО, чтобы расширить временной горизонт еще на несколько столетий. Это дает более обширный диапазон реакций моделей на данную оценку, а также новую информацию об изменении климата в длительных временных

Вставка TS.9. Инерция изменения климата

Если бы концентрации парниковых газов и аэрозолей удерживались на постоянном уровне после периода изменений, то климатическая система продолжала бы реагировать вследствие тепловой инерции океанов и ледовых щитов и характерного для них длительного временного масштаба для корректировки. «Инерция потепления» определяется здесь как дальнейшее изменение глобальной средней температуры после фиксирования состава атмосферы и, следовательно, радиационного воздействия, на постоянном уровне. Инерция изменения охватывает также другие аспекты климатической системы, в частности, уровень моря. Отметим, что удерживание концентраций радиационно активных видов подразумевало бы, что существующие темпы выбросов совпадают с темпами естественного удаления, что для большинства видов было бы эквивалентно значительному сокращению выбросов, хотя соответствующие модельные эксперименты не рассчитаны на то, чтобы рассматриваться как сценарии выбросов. {FAQ 1 0.3}

Тропосфера подстраивается под изменения в своих граничных условиях во временных масштабах приблизительно короче месяца. Верхние слои океана реагируют на временных шкалах от нескольких лет до нескольких десятилетий, а время реакции нижних слоев океана и ледовых щитов – от нескольких столетий от нескольких тысячелетий. Когда радиационное воздействие меняется, внутренние свойства атмосферы, как правило, быстро подстраиваются. Однако, поскольку атмосфера сильно связана со слоем перемешивания океана, который, в свою очередь, связан с более глубоким слоем океана, то для того, чтобы атмосферные переменные пришли в равновесие, требуется очень много времени. В те длительные периоды, когда приземный климат меняется очень медленно, можно считать, что атмосфера находится в квазиравновесном состоянии, и большая часть энергии поглощается океаном, так что поглощение тепла океаном – основная мера изменения климата. {1 0.7}

ГЛОБАЛЬНОЕ СРЕДНЕЕ ПОТЕПЛЕНИЕ: СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ С НАБЛЮДЕНИЯМИ

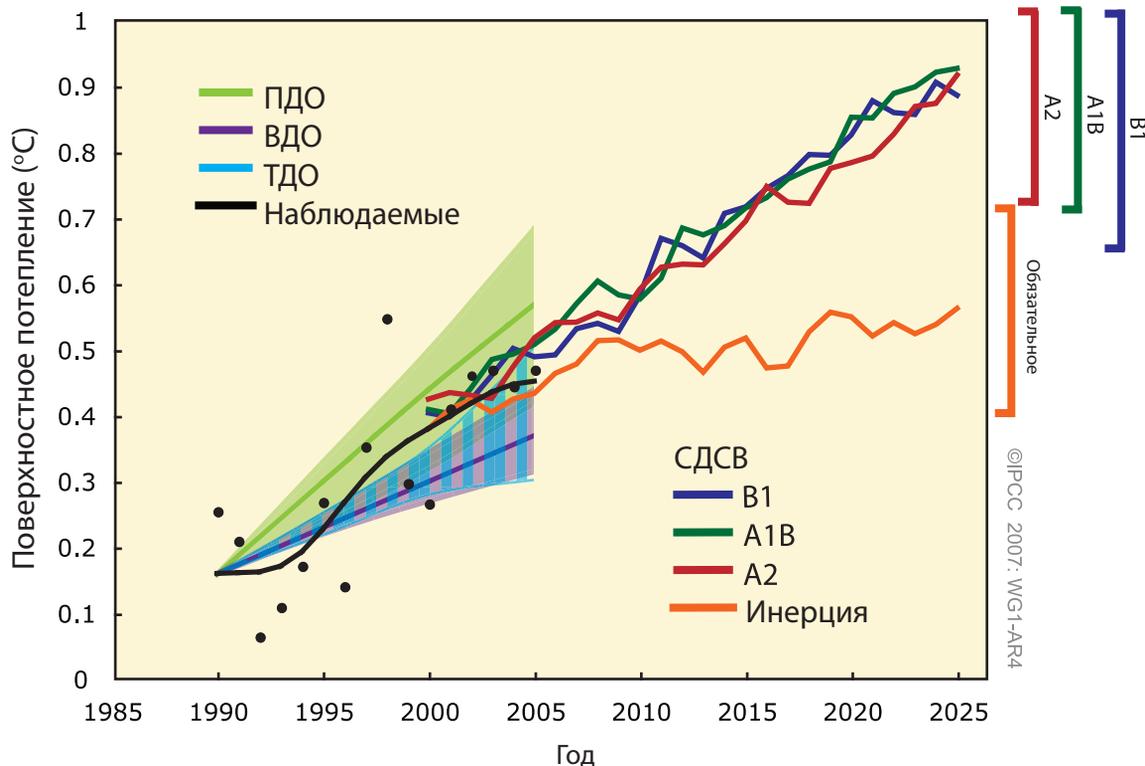


Рис. TS.26. Модельные проекции глобального среднего потепления по сравнению с наблюдаемым потеплением. Наблюдаемые температурные аномалии, как на рис. TS.6, показаны как годовые (черные точки) и десятилетние средние значения (черная линия). Проекция трендов и их диапазонов из Первого (ПДО) и Второго (ВДО) докладов МГЭИК об оценках показаны зеленой и фиолетовой сплошными линиями и закрашенными участками, а проекция диапазона из ТДО – вертикальными голубыми полосами. Эти проекции откорректированы так, чтобы начинаться с наблюдаемого десятилетнего среднего значения в 1990 году. Многомодельные средние проекции из данного доклада для сценариев СДСВ B1, A1B и A2, как на рис. TS.32, показаны за период 2000–2025 гг. синей, зеленой и красной кривыми, а области неопределенности указаны по правой вертикальной оси. Оранжевая кривая показывает модельные проекции потепления в случае, если бы концентрации парниковых газов и аэрозолей оставались на постоянном уровне 2000 года, - т.е. инерцию потепления. {Рис. 1.1 и 10.4}

масштабах при удерживании концентрации парниковых газов и аэрозолей на постоянном уровне. Некоторые МОЦАО и МСЗПС содержат прогностические компоненты углеродного цикла, которые позволяют оценить вероятные эффекты и соответствующие неопределенности обратных связей углеродного цикла. {10.1}

TS.5.1 Понимание краткосрочного изменения климата

Знание климатической системы вкупе с моделированием подтверждает, что минувшие изменения концентрации парниковых газов приведут к инерции потепления (определение см. во вставке TS.9) и изменению климата в будущем. Результаты новых моделей для экспериментов, в которых концентрации всех воздействующих

компонентов удерживались на постоянном уровне, дают улучшенные оценки инерционных изменений в атмосферных переменных, которые произойдут вследствие большого времени реакции климатической системы, особенно океанов. {10.3, 10.7}

Предыдущие прогнозы будущих изменений климата, сделанные МГЭИК, теперь можно сравнить с последними наблюдениями, что повышает уверенность в краткосрочных прогнозах и улучшает физическое понимание инерции изменения климата за несколько десятилетий. Проекция на 1990–2005 годы, разработанные для ПДО и ВДО, показали повышение глобальной средней температуры соответственно приблизительно на $0,3^{\circ}\text{C}$ и $0,15^{\circ}\text{C}$ за десятилетие.¹⁰ Разница между двумя этими проекциями была вызвана, главным образом, включением в ВДО

¹⁰ См. Первый доклад МГЭИК об оценках, «Резюме для политиков», и Второй доклад МГЭИК об оценках, «Техническое резюме», рис. 18.

Табл. TS.6. Проекция глобального среднего приземного потепления и повышения уровня моря на конец XXI века. {10.5, 10.6, табл. 10.7}

Вариант	Изменение температуры (°C на 2090-2099 гг. относительно 1980-1999 гг.) ^a		Повышение уровня моря (м на 2090-2099 гг. относительно 1980-1999 гг.)
	Наилучшая оценка	Вероятный диапазон	Основанный на моделях диапазон без будущих быстрых динамических изменений в потоке льда
Постоянные концентрации (уровень 2000 г.) ^b	0.6	0.3 – 0.9	НД
Сценарий В1	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
Сценарий А1Т	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
Сценарий В2	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
Сценарий А1В	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
Сценарий А2	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
Сценарий А1FI	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

Примечания:

^a Эти оценки получены из иерархии моделей, среди которых – простая модель климата, несколько моделей системы Земли промежуточной сложности (МСЗПС) и большое количество моделей общей циркуляции системы «атмосфера-океан» (МОЦАО).

^b Постоянный состав на 2000 год получен только из МОЦАО.

охлаждающего эффекта аэрозолей, тогда как для включения его в ПДО количественной основы не было. Проекция, данные в ТДО, были аналогичны проекциям в ПДО. Эти результаты сопоставимы с наблюдаемыми значениями, около 0,2°C за десятилетие, как показано на рис. TS.26, что дает высокую уверенность в таких краткосрочных проекциях. Частично это потепление является эффектом инерции изменений в концентрациях парниковых газов, происшедших до подготовки этих, более ранних оценок. {1.2, 3.2}

Инерция изменения климата (см. вставку TS.9) вследствие изменения состава атмосферы в 2000 году соответствует тренду потепления приблизительно на 0,1°C за десятилетие в течение следующих двух десятилетий, при условии отсутствия существенных изменений в вулканическом или солнечном воздействии. Если бы выбросы попали в диапазон сигнальных сценариев СДСВ, то уровень потепления был бы приблизительно вдвое выше (0,2°C за десятилетие). Этот результат не чувствителен к выбору сигнальных сценариев СДСВ, ни один из которых не учитывал климатические инициативы. К 2050 году диапазон ожидаемого потепления демонстрирует ограниченную чувствительность к выбору сценариев СДСВ (от 1,3°C до 1,7°C относительно 1980–1999 годов), при этом около четверти этого повышения было бы обусловлено

инерцией изменения климата, если бы все компоненты радиационного воздействия сегодня стабилизировались. {10.3, 10.5, 10.7}

В следующие несколько десятилетий уровень моря, как ожидается, продолжит повышаться. В период 2000-2020 годов, по сценарию СДСВ А1В для ансамбля МОЦАО, скорость теплового расширения проецируется на уровне 1,3±0,7 мм/год и не отличается значительно от сценариев А2 и В1. Эти прогнозные темпы попадают в область неопределенности наблюдаемого вклада теплового расширения на 1993-2003 гг., 1,6±0,6 мм/год. Отношение инерции теплового расширения, вызванной постоянным составом атмосферы (на уровне 2000 года) к общему тепловому расширению (т.е. отношению расширения после 2000 года к расширению до и после 2000 года), больше, чем соответствующее расширение для глобальной средней приземной температуры. {10.6, 10.7}

TS.5.2 Крупномасштабные проекции на XXI век

В этом разделе освещены достижения в понимании проекций климата глобального масштаба и процессы, которые будут влиять на их крупномасштабный характер в XXI веке. Более конкретное обсуждение изменений регионального масштаба приведено в разделе TS.5.3.

Проекция глобального среднего приземного

¹¹ Приблизительные эквивалентные концентрации CO₂, соответствующие расчетному радиационному воздействию антропогенных парниковых газов и аэрозолей в 2100 году (см. стр. 823 ТДО), для иллюстративных сигнальных сценариев СДСВ В1, А1 Т, В2, А1 В, А2 и А1 FI составляют соответственно около 600, 700, 800, 850, 1250 и 1550 ppm. Постоянные выбросы на уровне 2000 года привели бы к 2100 году к концентрациям одного лишь CO₂ на уровне около 520 ppm.

ПРОЕКЦИИ ПОТЕПЛЕНИЯ НА 2090-2099 ГГ

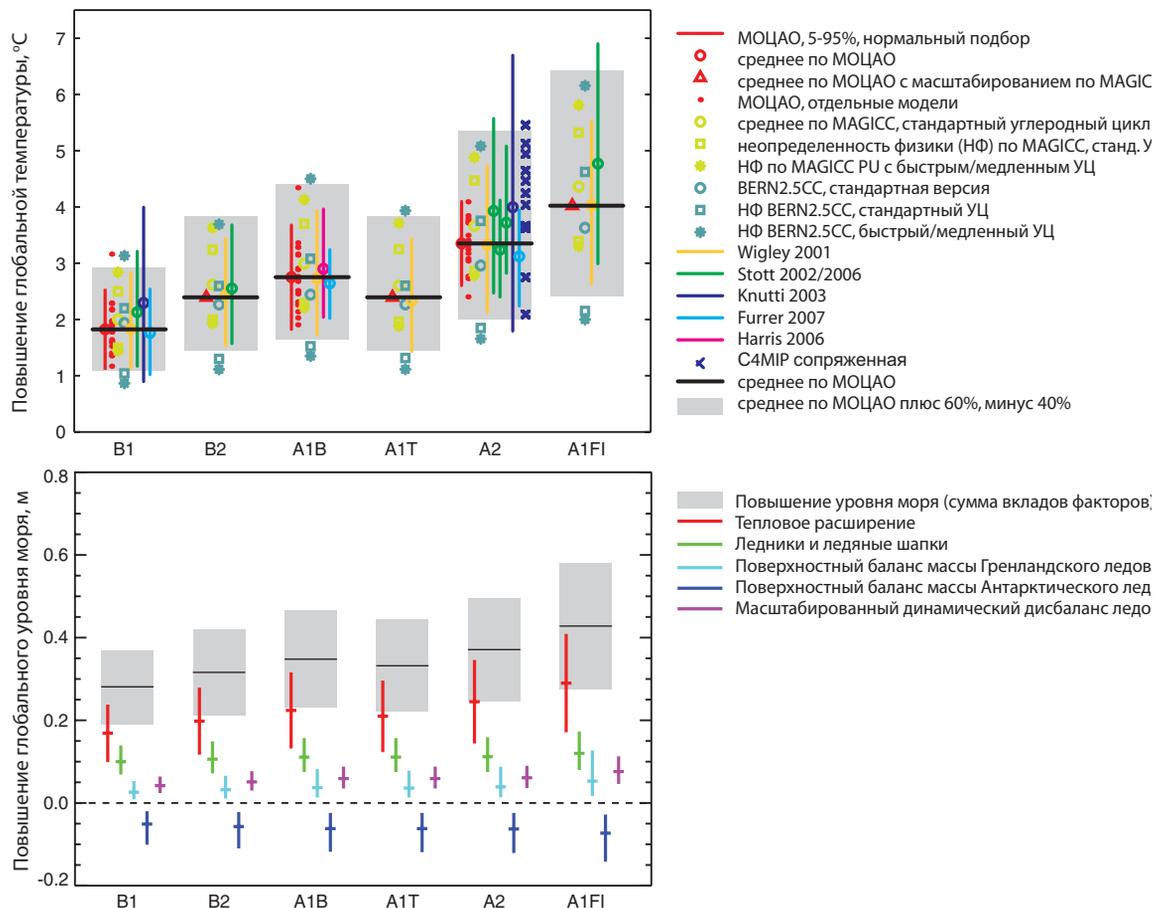


Рис. TS.27. (Вверху) Проекция изменений глобальной средней температуры в 2090-2099 гг. относительно 1980-1999 гг. по шести сигнальным сценариям СДСВ на основе результатов разных и независимых моделей. Многомодельное среднее значение по МОЦАО и диапазон среднего минус 40% плюс 60% показаны соответственно сплошными черными горизонтальными линиями. Неопределенности углеродного цикла оценены для сценария А2 на основе моделей Проекта сравнения сопряженных моделей углеродного цикла и климата (С4MIP) (темно-синие крестики), а для всех сигнальных сценариев – с помощью МСЗПС (светло-синие символы). Остальные символы представляют отдельные исследования (детали конкретных моделей приведены на рис. 10.29). (Внизу) Проекция повышения глобального среднего уровня моря и его компонентов в 2090-2099 гг. (по сравнению с 1980-1999 гг.) по шести сигнальным сценариям СДСВ. Неопределенности означают диапазоны 5-95% на основе разброса результатов моделей и не включают неопределенности углеродного цикла. Вклады факторов выведены путем масштабирования результатов МОЦАО и расчета изменений в материковом льде по изменениям температуры (подробности см. в Приложении 10.А). Вклады факторов в совокупности дают общее повышение уровня моря, которое не включает показанный вклад динамического дисбаланса ледовых щитов, для которого текущий уровень понимания не дает возможности вывести наилучшую оценку. (Рис. 10.29 и 10.33)

потепления на конец XXI века (2090-2099 гг.) зависит от сценария, и на фактическое потепление будут существенно влиять фактические объемы выбросов. Потепление по сравнению с 1980-1999 гг. для шести сценариев СДСВ11 для постоянных концентраций (уровня 2000 года), данное в виде наилучших оценок, и соответствующие вероятные диапазоны показаны в табл. TS.6. Эти результаты основаны на МОЦАО, эмпирических ограничениях и других методах количественной оценки реакции модели (см. рис. TS.27). Сочетание множества наборов доказательств позволяет присваивать результирующим диапазонам значения

вероятности, что является важным достижением по сравнению с ТДО. {10.5}

Оцененные области неопределенности больше, чем данные в ТДО, потому что они учитывают более полный спектр моделей и обратных связей между климатом и углеродным циклом. Потепление обычно снижает поглощение суши и океаном атмосферного CO_2 , увеличивая долю антропогенных выбросов, которая остается в атмосфере. Например, для сценария А2 обратная связь по CO_2 увеличивает соответствующее глобальное среднее потепление в 2100 году более чем на 1°C . {7.3, 10.5}

Проекция глобального среднего повышения уровня моря на конец XXI века (2090-2099 годы) по сравнению с 1980-1999 годами по шести сигнальным сценариям СДСВ, заданное как диапазоны 5-95% на основании разброса результатов моделей, показаны в табл. TS.6. 70-75% наилучшей оценки по каждому сценарию приходится на долю теплового расширения. Усовершенствованием по сравнению с ТДО является применение МОЦАО для оценки поглощения тепла океаном и теплового расширения. Это также уменьшило проекции по сравнению с простой моделью, использованной в ТДО. Во всех сигнальных сценариях СДСВ, кроме В1, средние темпы повышения уровня моря в XXI веке, весьма вероятно, превышают средние темпы за 1961-2003 годы ($1,8 \pm 0,5$ мм/год). Для средней модели разброс повышения уровня моря по сценариям к середине столетия составляет лишь 0,02 м, но к концу столетия – 0,15 м. Эти диапазоны не включают неопределенности в обратных связях углеродного цикла и процессах потока льда,

потому что основы для этого в опубликованной литературе нет. {10.6, 10.7}

Для каждого сценария средняя точка приведенного здесь диапазона находится в пределах 10% от среднего значения по моделям, приведенного в ТДО на 2090-2099 годы, с учетом того, что в ТДО проекции были даны на 2100 год, а в данном докладе – на 2090-2099 гг. Неопределенность в этих проекциях меньше, чем в ТДО, по нескольким причинам: неопределенность в моделях материкового льда считается не зависящей от неопределенности в прогнозах температуры и расширения; улучшенные наблюдения за недавней потерей массы ледников дают лучшее эмпирическое ограничение; и в настоящем докладе неопределенности заданы как диапазоны 5-95%, что эквивалентно $\pm 1,65$ среднеквадратичным отклонениям, тогда как в ТДО были заданы области неопределенности с ± 2 среднеквадратичными отклонениями. В ТДО диапазоны проекций уровня моря были бы аналогичны приведенным в данном докладе, если

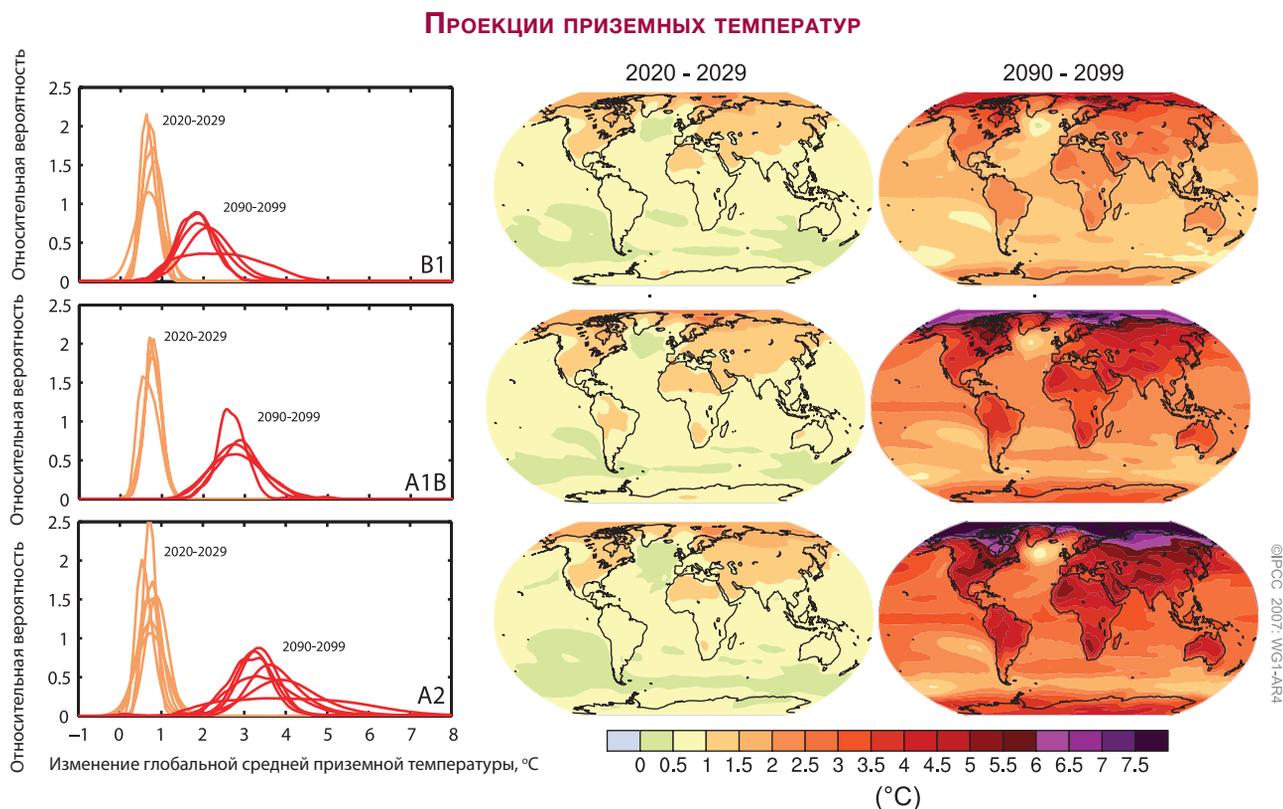


Рис. TS.28. Проекция изменений приземных температур на начало и конец XXI века относительно периода 1980-1999 гг. В центральной и правой частях показаны многомодельные средние прогнозы по МОЦАО ($^{\circ}\text{C}$) для сценариев СДСВ В1 (вверху), А1В (в середине) и А2 (внизу), усредненные по десятилетиям 2020-2029 гг. (в центре) и 2090-2099 гг. (справа). В левой части показаны соответствующие неопределенности как относительные вероятности оценки глобального среднего потепления по нескольким разным исследованиям на основе МОЦАО и МСЗПС на те же периоды. Некоторые исследования дают результаты только для комплекта сценариев СДСВ или для разных вариантов моделей. Поэтому разница в количестве кривых, показанных в левой части, обусловлена только разницей в наличии результатов. {Адаптировано из рис. 10.8 и 10.28}

бы неопределенности трактовались в ТДО таким же образом. {10.6, 10.7}

Изменения в криосфере будут продолжать влиять на повышение уровня моря в XXI веке. Ледники, ледяные шапки и Гренландский ледовый щит, согласно проекциям, в XXI веке потеряют в массе, так как усиленное таяние превысит усиленные снегопады. Текущие модели показывают, что Антарктический ледовый щит останется слишком холодным для повсеместного таяния и, возможно, в будущем наберет в массе благодаря усиленным снегопадам, вследствие чего уровень моря понизится. Вместе с тем, изменения в динамике льда могли бы увеличить вклад и Гренландии, и Антарктиды в повышение уровня моря в XXI веке. Недавние наблюдения за некоторыми гренландскими выводными ледниками дают убедительное доказательство усиленного движения при удалении шельфовых ледников. Проведенные в западно-центральной части Гренландии наблюдения за сезонными колебаниями в скорости движения льда и за корреляцией с колебаниями летней температуры показывают, что поверхностная талая вода может попасть в подледниковую дренажную систему, смазывающую поток льда. Благодаря обоим этим механизмам более интенсивное поверхностное таяние в XXI веке могло бы вызвать ускорение движения и вывода льда и увеличить вклад в повышение уровня моря. В некоторых частях Западной Антарктиды значительное ускорение движения льда недавно уже имело место, что, возможно, было вызвано утончением шельфовых ледников вследствие потепления океана. Хотя формально это не было отнесено на счет антропогенного изменения климата вследствие парниковых газов, это показывает, что будущее потепление может вызвать более быструю потерю массы и повышение уровня моря. Количественные проекции этого явления невозможно сделать с уверенностью. Если бы последнее наблюдаемое повышение скорости вывода льда с Гренландского и Антарктического ледового щитов линейно зависело от повышения глобальной средней температуры, это увеличило бы верхний предел повышения уровня моря на 0,1-0,2 м. Понимание этих эффектов слишком ограничено для того, чтобы оценить их правдоподобие или дать наилучшую оценку. {4.6, 10.6}

Многие из глобальных и региональных режимов температуры и осадков, заметных в проекциях ТДО, остаются в новом поколении моделей и во всех ансамблевых результатах (см. рис. TS.28). в

устойчивости этих режимов укрепляется тем, что они остались в основном без изменений, в то время как общие результаты моделей улучшились (вставка TS.7). Это повышает степень уверенности в том, что эти режимы отражают основные физические ограничения на климатическую систему по мере ее потепления. {8.3–8.5, 10.3, 11.2–11.9}

Проекции изменений температуры в XXI веке везде положительно. Сильнее всего они над сушей и в самых высоких широтах северного полушария в зимнее время, и повышение распространяется от берегов в середину континентов. В районах, которые в остальных географических аспектах схожи, потепление, как правило, сильнее в сухих регионах, чем во влажных. {10.3, 11.2–11.9}

Над Южным океаном и частично северным районом Атлантического океана потепление, наоборот, минимально. Температуры, согласно проекциям, повысятся, в том числе над Северной Атлантикой и Европой, несмотря на проецируемое замедление меридиональной опрокидывающей циркуляции (МОЦ) в большинстве моделей, вследствие намного большего влияния повышения концентрации парниковых газов. Проецируемый режим изменения зональных средних температур в атмосфере отражает максимальное потепление в верхних слоях тропической тропосферы и похолодание в стратосфере. Дальнейшее зональное среднее потепление в океане ожидается прежде всего у поверхности и в северных средних широтах, причем потепление будет достигать внутренних слоев океана, что будет наиболее очевидно в высоких широтах, где наибольшее вертикальное перемешивание. Проецируемый режим изменения очень похож у всех случаев для прошлого столетия, независимо от сценария. Средние зональные поля, нормализованные средним потеплением, очень похожи для всех изученных сценариев (см. рис. TS.28). {10.3}

Весьма вероятно, что Атлантическая МОЦ в течение XXI века замедлится. Многомодельное среднее уменьшение к 2100 году составляет 25% (диапазон от нуля до приблизительно 50%) для сценария выбросов СДСВ А1В. Температуры в Атлантическом регионе, согласно проекциям, повысятся, несмотря на изменения вследствие намного более сильного потепления, связанного с проецируемым ростом концентрации парниковых газов. Проецируемое уменьшение Атлантической МОЦ обусловлено совокупными эффектами повышения высокоширотных температур и количества осадков, которые уменьшают плотность

поверхностных вод в Северной Атлантике. Это могло бы привести к значительному сокращению образования воды в Лабрадорском море. Очень немногие исследования МОЦАО учитывают влияние дополнительного количества пресной воды, создаваемого таянием Гренландского ледового щита, а те, которые учитывают, не позволяют считать, что это приведет к полной остановке МОЦ. В целом весьма вероятно, что МОЦ сократится, но весьма маловероятно, что МОЦ подвергнется значительному резкому переходу в течение XXI века. Долгосрочные изменения в МОЦ невозможно оценить с уверенностью. {8.7, 10.3}

Модели показывают, что повышение уровня моря в XXI веке не будет географически однородным. По сценарию A1B для 2070-2099 годов МОЦАО дают среднее пространственное квадратичное отклонение 0,08 м, что составляет около 25% центральной оценки глобального среднего повышения уровня моря. Географические профили будущего изменения уровня моря вытекают главным образом из изменений в распределении тепла и солености в океане и последующих изменений в океанической циркуляции. Проекция профилей демонстрирует больше подобия во всех моделях, чем те, которые анализировались в ТДО.

Общие особенности – это меньшее, чем среднее, повышение уровня моря в Арктике и узкая полоса выраженного повышения уровня моря, тянущаяся через южную часть Атлантического и Индийского океанов. {10.6}

Прогнозы изменений в экстремальных явлениях, таких как частота волн тепла, лучше описаны количественно, чем в ТДО, благодаря повышению качества моделей и лучшей оценке разброса моделей на основе многомодельных ансамблей. В ТДО был сделан вывод о том, что существует риск повышенных температурных экстремумов и в будущем климате увеличится частота случаев экстремальной жары. Этот результат был подтвержден и расширен в более новых исследованиях. Будущее повышение температурных экстремумов, по прогнозам, будет следовать за повышением средней температуры над большей частью планеты, кроме районов, где свойства поверхности (например, снежный покров или влажность почвы) изменяются. Многомодельный анализ на основе 14 моделей для трех сценариев исследовал изменения в экстремальных сезонных (ДЯФ и ИИА) температурах, где «экстремальная» определяется как лежащая над 95-м процентилем моделированного распределения температур на XX

Вставка TS.10. Региональное уменьшение масштаба

Моделирование регионального климата улучшилось в МОЦАО и, как следствие, в моделях регионального климата с вложенной сеткой и в эмпирических методах уменьшения масштаба. И в динамических, и в эмпирических методологиях уменьшения масштаба наблюдается повышение качества моделирования местных особенностей в современном климате, когда наблюдаемое состояние атмосферы в масштабе, который допускает разрешающую способность нынешних МОЦАО, используется как входная информация. Наличие исследований с уменьшением масштаба и других регионально ориентированных исследований географически распределено все еще неравномерно, что приводит к неоднородности в оценках, которые могут быть сделаны, особенно для экстремальных метеорологических явлений. Исследования с уменьшением масштаба демонстрируют, что местные изменения в осадках могут значительно отклоняться от тех, которые ожидаются от крупномасштабного характера гидрологической реакции, особенно в районах со сложной топографией. {11.10}

Остается ряд важных источников неопределенности, ограничивающей возможность проецирования региональных изменений климата. Хотя гидрологические реакции относительно устойчивы в определенных основных субполярных и субтропических регионах, существует неопределенность в точном определении этих границ между увеличением и уменьшением количества осадков. Есть ряд важных климатических процессов, которые оказывают значительное влияние на региональный климат, но для которых реакция на потепление климата все еще плохо известна. Это, в частности, ЭНСО, САК, блокирование, термохалинная циркуляция, изменения в распределении тропических циклонов. Для тех регионов, в которых есть строгая топографическая привязка типов климата, часто нет достаточной информации об изменении климата с высоким пространственным разрешением топографии. В некоторых регионах ведутся лишь очень ограниченные исследования экстремальных метеорологических явлений. Кроме того, проецируемый сигнал об изменении климата становится сопоставимым с более сильной внутренней изменчивостью в более мелких пространственных и временных масштабах, что затрудняет использование последних трендов для оценки эффективности модели. {Вставка 11.1, 11.2–11.9}

век. К концу XXI века проецируемая вероятность экстремально теплых сезонов во многих тропических районах превысит уровень 90%, а в других местах составит около 40%. В некоторых последних исследованиях рассматриваются возможные будущие изменения в периодах волн тепла и установлено, что в климате будущего волны тепла станут более интенсивными, длительными и частыми. Моделирование периодов волн тепла на основе восьмичленного многомодельного ансамбля предполагало, что такие периоды во второй половине XX века усилились и, по прогнозам, усилятся в глобальном масштабе и над большинством регионов. {8.5, 10.3}

Для будущего более теплого климата модели проецируют снижение частоты вторжений холодных воздушных масс в большинстве районов северного полушария в зимнее время на 50-100% по сравнению с нынешней ситуацией. Результаты моделирования с помощью девятичленного многомодельного ансамбля показывают, что уменьшение числа морозных дней, характерное для XX века, продолжится в XXI веке в глобальном масштабе и в большинстве регионов. Увеличение продолжительности времен года связано с морозными днями и, согласно проекциям, в будущем климате усилятся. {10.3, ЧЗВ10.1}

Снежный покров, согласно проекциям, уменьшится. Проецируется повсеместное увеличение глубины оттепели в большинстве районов вечной мерзлоты. {10.3}

По нескольким разным сценариям СДСВ (A1B, A2 и B1) большие части Северного Ледовитого океана, как ожидается, к концу XXI века больше не будут иметь круглогодичного ледяного покрова. Арктический морской лед чувствительно реагирует на потепление. Хотя прогнозируемые изменения площади зимнего морского льда умеренны, в конце лета морской лед, по проекциям некоторых моделей по сценарию A2, в конце XXI века почти полностью исчезнет. Это уменьшение ускоряется благодаря ряду положительных обратных связей в климатической системе. Обратная связь «лед-альbedo» позволяет открытой воде получать от Солнца больше тепла в летнее время, изолирующий эффект морского льда уменьшается, и усиление океанического теплопереноса в Арктике еще более уменьшает ледяной покров. Моделирование показывает, что морской ледяной покров в конце лета значительно уменьшается и, как правило, это уменьшение идет в том же временном

масштабе, что и глобальное потепление. Площадь антарктического морского льда в XXI веке, согласно проекциям, также сократится. {8.6, 10.3, вставка 10.1}

Давление на уровне моря, согласно проекциям, повысится над субтропиками и средними широтами, а в высоких широтах понизится в связи с расширением циркуляции Гадлея и изменениями в кольцевых режимах (СКР САК и ЮКР, см. вставку TS.2). Во многих моделях проецируется положительный тренд в СКР/САК, а также показатель ЮКР. Порядок величины проецируемого повышения для ЮКР в общем выше, и между моделями наблюдается значительный разброс. В результате этих изменений траектории циклонов, согласно проекциям, сместятся к полюсам, что будет сопровождаться последующими изменениями режимов ветров, осадков и температур вне тропиков, продолжая основное направление наблюдаемых трендов за последние полвека. Некоторые исследования позволяют предположить уменьшение количества штормов в среднеширотных регионах. Есть также признаки изменений в экстремальной высоте волны, связанных с изменением траекторий циклонов и циркуляции. {3.6, 10.3}

В большинстве моделей ТПМ в центральной и восточной экваториальных частях Тихого океана повышается больше, чем в западной экваториальной его части, при этом имеет место соответствующий сдвиг осадков в среднем на восток. Межгодовая изменчивость ЭНСО, по проекциям большинства моделей, продолжится, хотя изменения разнятся от модели к модели. Значительные междомодельные различия в проецируемых изменениях амплитуды Эль-Ниньо, а также внутренняя изменчивость Эль-Ниньо в вековом временном масштабе в этих моделях препятствует выработке полной проекции трендов в изменчивости ЭНСО. {10.3}

Последние исследования с помощью усовершенствованных глобальных моделей, с разрешением от почти 100 до 20 км, позволяют предположить, что количество и интенсивность тропических циклонов (тайфунов и ураганов) в будущем увеличатся. Синтез результатов моделей, полученных к настоящему времени, показывает для более теплого будущего климата повышенную максимальную силу ветра и повышенное среднее и максимальное количество осадков в будущих тропических циклонах, а также возможное уменьшение числа относительно слабых и увеличение числа сильных ураганов. При этом,

АНОМАЛИИ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ПРИЗЕМНЫХ ТЕМПЕРАТУР: НАБЛЮДЕНИЯ И ПРОЕКЦИИ

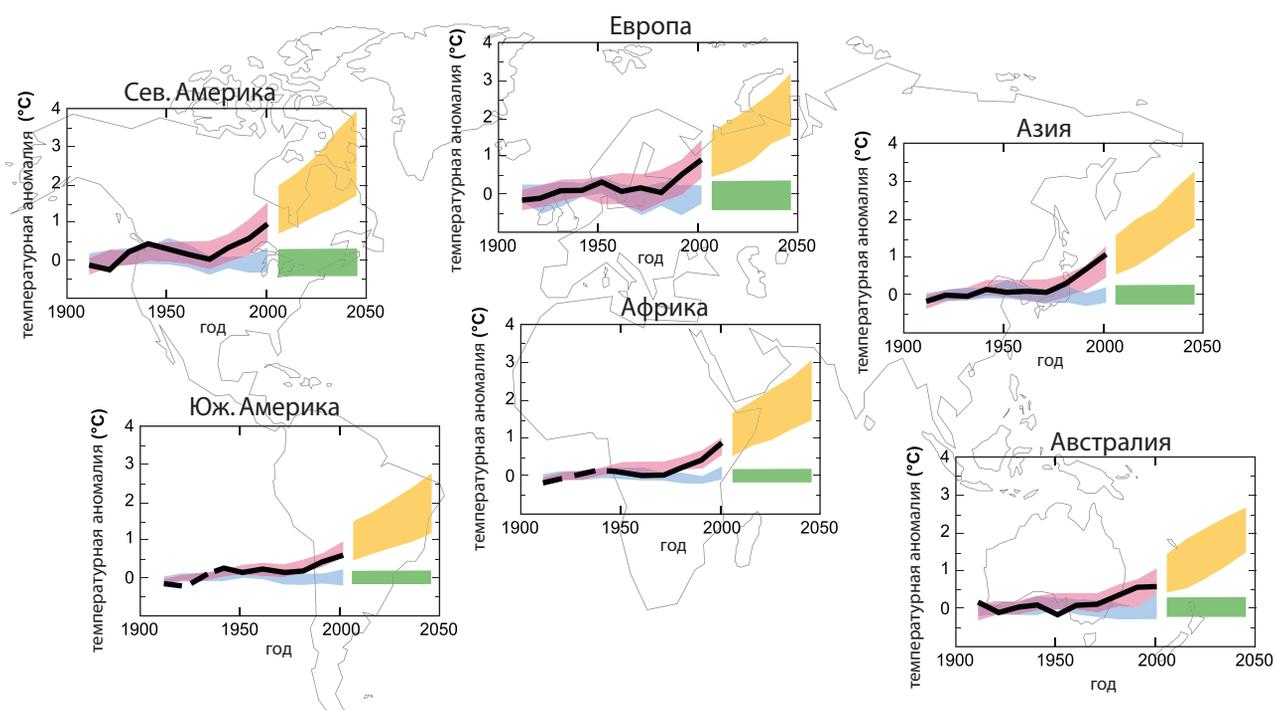


Рис. TS.29. Десятилетние аномалии средних континентальных приземных температур (°C) в наблюдениях и моделях за период 1906-2005 гг. и в проекциях на 2001-2050 гг. Аномалии рассчитаны от среднего за 1901-1950 годы. Черные линии обозначают наблюдения, а розовые и голубые полосы – моделированные аномалии средней температуры (см. рис. TS.22) за XX век (т.е. розовые участки включают антропогенные и естественные воздействия, а голубые – только естественные). Желтые участки обозначают диапазон проецируемых изменений от 5 до 95 перцентиля по сценарию выбросов СДСВ А1В. Зеленая полоса означает диапазон 5-95 перцентилей десятилетних средних аномалий за XX век по моделям только с естественными воздействиями (т.е. меру естественной десятилетней изменчивости). Для наблюдаемой части этих графиков десятилетние средние центрированы на границах календарных десятилетий (т.е. последняя точка для периода 1996-2005 гг. – 2000 год), а для будущего периода – на средних точках календарных десятилетий (т.е. первая точка для периода 2001-2010 гг.) – 2005 год. Для построения диапазонов все прогоны набора моделей считались независимыми реализациями возможной эволюции климата с учетом приложенных воздействий. В частности, было задействовано 58 прогонов 14 моделей для красной кривой, 19 прогонов 5 моделей (подкомплект 14 моделей) для голубой кривой и зеленой полосы и 47 прогонов 18 моделей для желтой кривой. {ЧЗВ 9.2.1, рис. 1 и вставка 11.1, рис. 1}

однако, общее количество тропических циклонов в глобальном масштабе, согласно проекциям, уменьшится. Очевидное наблюдаемое увеличение доли очень сильных ураганов с 1970 года в некоторых регионах – тенденция в том же направлении, однако в значительно большей степени, чем предсказывают теоретические модели. {10.3, 8.5, 3.8}

Со времен ТДО понимание проекций режимов осадков улучшилось. Увеличение количества осадков весьма вероятно на высоких широтах, а уменьшение вероятно в большинстве субтропических районов суши (почти на 20% по сценарию А1В на 2100 год). По направлению к полюсу от 50° среднее количество осадков, по прогнозам, увеличится

вследствие повышения содержания водяного пара в атмосфере и, как результат, усиления переноса пара с более низких широт. В направлении экватора имеет место переход преимущественно к уменьшению количества осадков в субтропиках (широта 20°–40°). Вследствие усиленного переноса водяного пара из субтропиков и направленного к полюсам расширения субтропических областей высокого давления тенденция к засушливости особенно выражена на более высокоширотных границах субтропиков (см. рис. TS.30). {8.3, 10.3, 11.2–11.9}

Модели позволяют предположить, что изменения в среднем количества осадков, даже там, где

СЕЗОННЫЕ СРЕДНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ

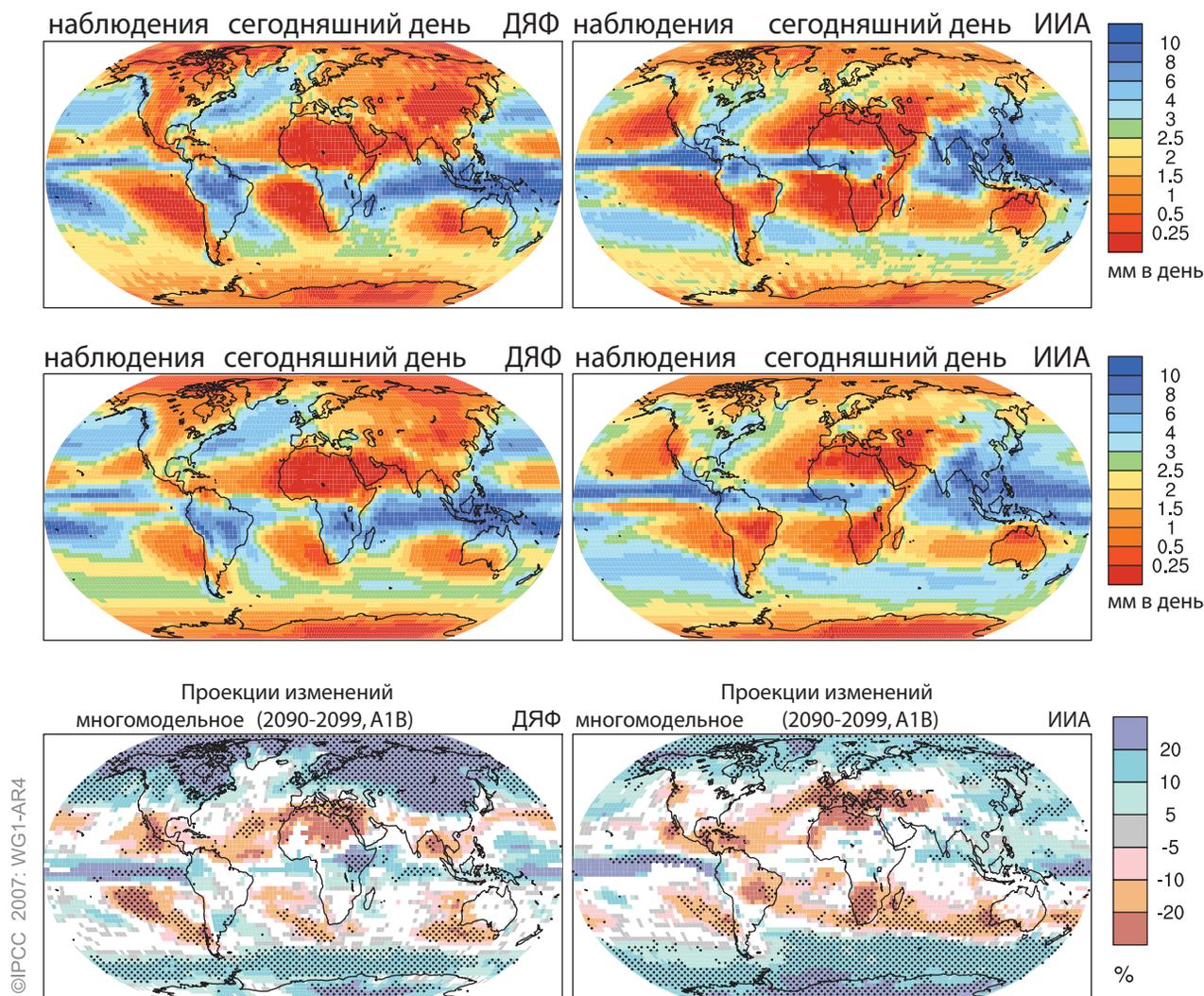


Рис. TS.30. Пространственные профили наблюдаемого (верхний ряд) и многомодельного среднего (средний ряд) сезонного среднего количества осадков (мм/день) за период 1979-1993 гг. и многомодельное среднее значение изменений к периоду 2090-2099 гг. относительно 1980-1999 гг. (% изменения) на основе сценария СДСВ А1В (нижний ряд). Средние значения за декабрь-февраль приведены в левой колонке, а средние значения за июнь-август – в правой. В нижнем ряду изменения показаны только там, где более чем в 66% моделей получен одинаковый знак изменения. Точечным рисунком показаны участки, где одинаковый знак изменения получен более чем в 90% моделей. (Построено по тем же самым комплектам данных, которые показаны на рис. 8.5 и 10.9)

они устойчивые, будут превышать естественную изменчивость более медленно, чем температурный сигнал. {10.3, 11.1}

Проведенные исследования демонстрируют тенденцию к повышению числа сильных ливней во многих регионах, в том числе в некоторых из тех, где среднее количество дождевых осадков, согласно проекциям, уменьшится. В последних случаях уменьшение количества дождевых осадков часто приписывают уменьшению числа дождливых дней, а не интенсивности дождя, если он имеет место. {11.2–11.9}

TS.5.3 Проекция регионального масштаба

Для каждого из континентальных регионов проецируемое потепление за 2000-2050 годы, вытекающее из сценариев выбросов СДСВ, сильнее, чем глобальное среднее, и сильнее, чем наблюдаемое потепление за прошлое столетие. Потепление, проецируемое на следующие несколько десятилетий XXI века, если его усреднить отдельно по континентам, значительно превысило бы расчетную естественную вынужденную и невынужденную изменчивость за XX век во всех случаях, кроме

Антарктиды (рис. TS.29). Наилучшие оценки проекций на моделях показывают, что десятилетнее среднее потепление над каждым континентом, кроме Антарктиды, к 2030 году, весьма вероятно, будет минимум вдвое сильнее, чем соответствующая моделированная естественная изменчивость за XX век. Моделированное потепление за этот период не очень чувствительно к выбору сценариев по всему набору СДСВ, как показано на рис. TS.32. В более длительных временных масштабах выбор сценариев более важен, как показано на рис. TS.28. Проецируемое потепление по сценариям СДСВ за 2000-2050 годы также превышает оценки естественной изменчивости при усреднении по большинству субконтинентальных регионов. {11.1}

В северном полушарии устойчивый характер увеличения количества субтропических осадков преобладает в проецируемом режиме осадков на XX век над Северной Америкой и Европой, тогда как субтропическая засушливость менее очевидна над Азией (см. рис. TS.30). Почти все модели проецируют увеличение количества осадков над большей частью северных районов Северной Америки и уменьшение над Центральной Америкой, тогда как большая часть континентальной территории США и северных районов Мексики находится в более неопределенной переходной зоне, которая перемещается на север и на юг в соответствии с временами года. Уменьшение количества осадков уверенно проецируется для южной Европы и Средиземноморской Африки, с переходом к увеличению в северной Европе. На обоих континентах проецируется сильная летняя сухость, обусловленная как перемещением этой переходной зоны к полюсу летом, так и повышенным суммарным испарением. Субполярное увеличение количества осадков проецируется над большей частью северной Азии, но при этом субтропическая сухость, распространяющаяся из Средиземноморья, вытесняется отчетливыми муссонными характеристиками по мере перемещения из центральной Азии на восток. {11.2–11.5}

В южном полушарии в зоне проецируемого субполярного увлажнения в XXI веке находится незначительное количество участков суши, а субтропическая засушливость выражена более явно (см. рис. TS.30). Южный остров Новой Зеландии и Огненная Земля попадают в зону увеличения числа субполярных осадков, а самая южная часть Африки, южные Анды в Северной Америке и южная

Австралия испытывают тенденцию к засушливости, типичную для субтропиков. {11.2, 11.6, 11.7}

Проекция осадков над тропическими участками суши более неопределенны, чем прогнозы для более высоких широт, однако, несмотря на значительные недостатки в моделировании тропической конвекции и взаимодействий «атмосфера-океан», а также на дополнительную неопределенность, связанную с тропическими циклонами, в моделях появляются некоторые устойчивые характеристики. Количество осадков в сезон летних муссонов в Южной и Юго-Восточной Азии в большинстве моделей увеличивается, как и в Восточной Африке. Знак реакции осадков считается менее определенным как над Амазонкой, так и над Африканским Сахелем. Это регионы, где есть дополнительная неопределенность вследствие возможных связей между растительностью и климатом, и где в моделях меньше устойчивости, даже когда обратные связи по растительности не учтены. {8.3, 11.2, 11.4, 11.6}

TS.5.4 Связь между изменением климата и изменениями в биогеохимических циклах

Все модели, которые рассматривают сопряжение углеродного цикла с изменением климата, показывают эффект положительной обратной связи с потеплением, который подавляет поглощение углекислого газа суши и океаном, что ведет к повышению концентрации CO₂ в атмосфере и усилению изменения климата для данного сценария выбросов, однако сила этого эффекта обратной связи заметно различается в зависимости от модели. Со времени публикации ТДО было построено и сравнено несколько новых проекций, основанных на полностью сопряженных моделях «углеродный цикл – климат». Для сценария СДСВ A2 и на основе диапазона результатов моделирования проецируемое повышение концентрации углекислого газа в атмосфере за XXI век, вероятно, на 10-25% больше, чем в проекциях без этой обратной связи, что для сценариев СДСВ с более высокими объемами выбросов увеличивает проецируемое среднее потепление к 2100 году более чем на 1°C. Соответственно, снижение поглощения CO₂, вызванное этим эффектом, уменьшает выбросы углекислого газа, что соответствует целевому уровню стабилизации. Вместе с тем, остаются значительные неопределенности, обусловленные,

ИНЕРЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

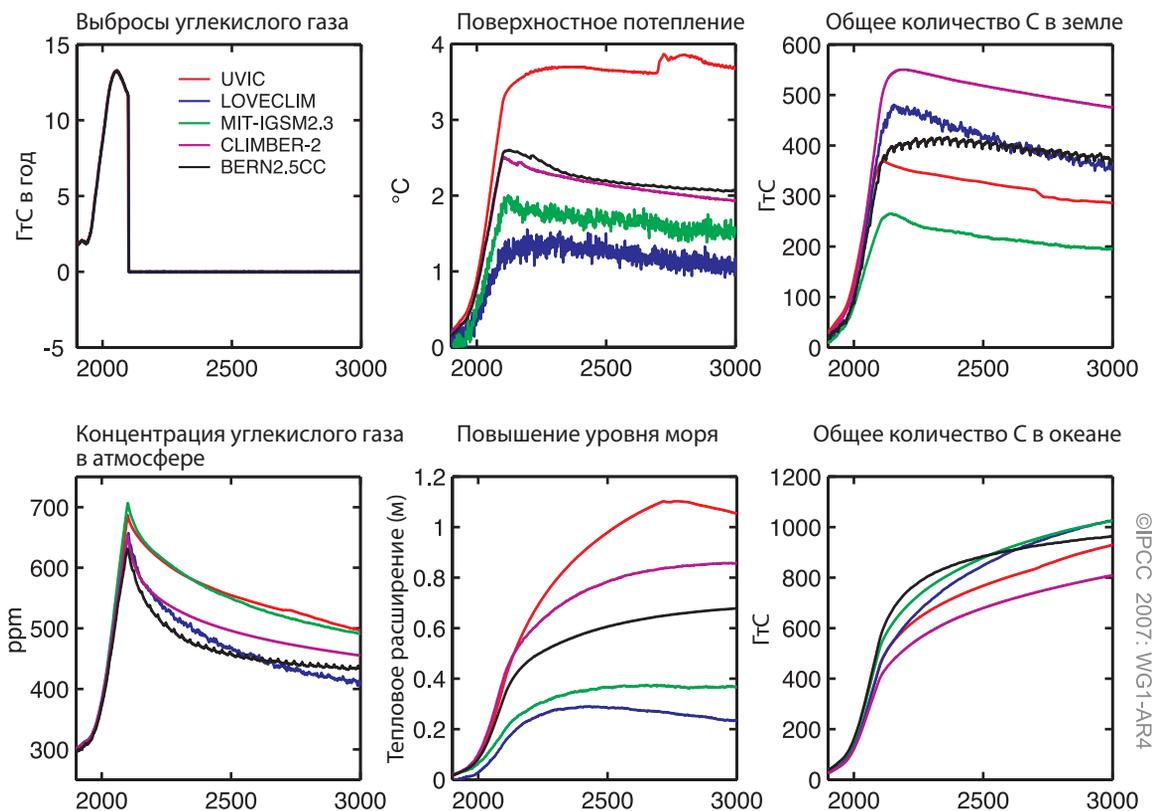


Рис. TS.31. Расчет инерции изменения климата вследствие прошлых выбросов для пяти разных МЗСПС и идеализированного сценария, где выбросы следуют по сценарию, который ведет к стабилизации CO_2 в атмосфере на уровне 750 ppm, однако перед достижением этой цели выбросы в 2100 году мгновенно снижаются до нуля. (Слева) Выбросы и концентрация CO_2 в атмосфере. (В центре) Приземное потепление и повышение уровня моря вследствие теплового расширения. (Справа) Изменение общего содержания углерода в земле и океане после доиндустриальной эпохи. {Рис. 10.35}

например, ограниченным пониманием динамики экосистем суши и почв. {7.3, 10.4}

Повышение концентрации CO_2 в атмосфере непосредственно ведет к повышению закисления поверхностного океана. Проекция на основе сценариев СДСВ дают на XXI век снижение pH на 0,14-0,35 ед. (в зависимости от сценария), т.е. больше, чем нынешнее снижение (0,1 ед.) по сравнению с доиндустриальными временами. Закисление океана привело бы к растворению мелководных известковых отложений. Поверхностные воды Южного океана, по прогнозам, будут недонасыщены карбонатом кальция (CaCO_3) при концентрациях CO_2 выше 600 ppm – уровне, в большинстве сценариев СДСВ превышенном во второй половине XXI века. Низкоширотные регионы и большие глубины океана тоже будут затронуты. Эти изменения могли бы повлиять на морские организмы, наружный скелет которых

формируется из CaCO_3 , однако совокупный эффект биологического углеродного цикла в океанах понят недостаточен. {Вставка 7.3, 10.4}

Инерция изменения климата вследствие прошлых выбросов значительно изменяется для разных воздействующих факторов из-за различного времени жизни в атмосфере Земли (см. вставку TS.9). Инерция изменения климата вследствие прошлых выбросов учитывает как (i) запаздывание реакции климатической системы на изменения в радиационном воздействии, так и (ii) временные масштабы, в которых различные воздействующие факторы остаются в атмосфере после выброса, учитывая их разное время жизни. Как правило, инерция изменения климата вследствие прошлых выбросов включает начальный период дальнейшего повышения температуры, по упомянутым выше причинам, после чего идет долгосрочное понижение по мере уменьшения радиационного воздействия.

Некоторые парниковые газы, например CH_4 и угарный газ, имеют относительно короткое время жизни в атмосфере (десятилетия или меньше), тогда как у других, например, N_2O , время жизни составляет порядка ста лет, а у некоторых (например, SF_6 и ПФУ) - несколько тысячелетий. Концентрация углекислого газа в атмосфере не уменьшается за какое-то четко определенное время, если выбросы прекращаются. Удаление CO_2 , испущенного в атмосферу, происходит во множестве временных масштабов, но часть его остается в атмосфере многие тысячи лет, поэтому выбросы приводят к очень длительной инерции изменения климата. Из-за медленной долговременной буферизации океана, включая обратную связь по отложениям CaCO_3 , для достижения равновесной концентрации углекислого газа в атмосфере требуется 30-35 тысяч лет. Используя сопряженные компоненты углеродного цикла, МСЗПС показывают, что инерция изменения климата из-за выбросов CO_2 длится более 1000 лет, поэтому даже в этих очень длительных временных масштабах температура и уровень моря не возвращаются

к доиндустриальным значениям. Признак длительной инерции изменения климата получен путем задания тенденции снижения антропогенных выбросов CO_2 до стабилизации на уровне 750 ppm, но с произвольной установкой объема выбросов на нуль в 2100 году. В этом контрольном примере для снижения концентрации углекислого газа в атмосфере с максимума (от 650 до 700 ppm) до менее чем двукратного доиндустриального значения этого показателя (около 560 ppm) в разных моделях необходимо около 100-400 лет, учитывая непрерывный, но медленный перенос углерода из атмосферы и земных водоемов в океан (см. рис. TS.31). {7.3, 10.7}

Концентрации многих других парниковых газов и их прекурсоров в будущем, согласно проекциям, будут связаны с изменением климата. В частности, недостаточное понимание причин последних изменений темпов роста концентрации CH_4 вызывает значительные неопределенности в будущих проекциях по этому газу. Выбросы CH_4 с водно-болотных угодий, вероятно, будут увеличиваться в более теплом и влажном климате

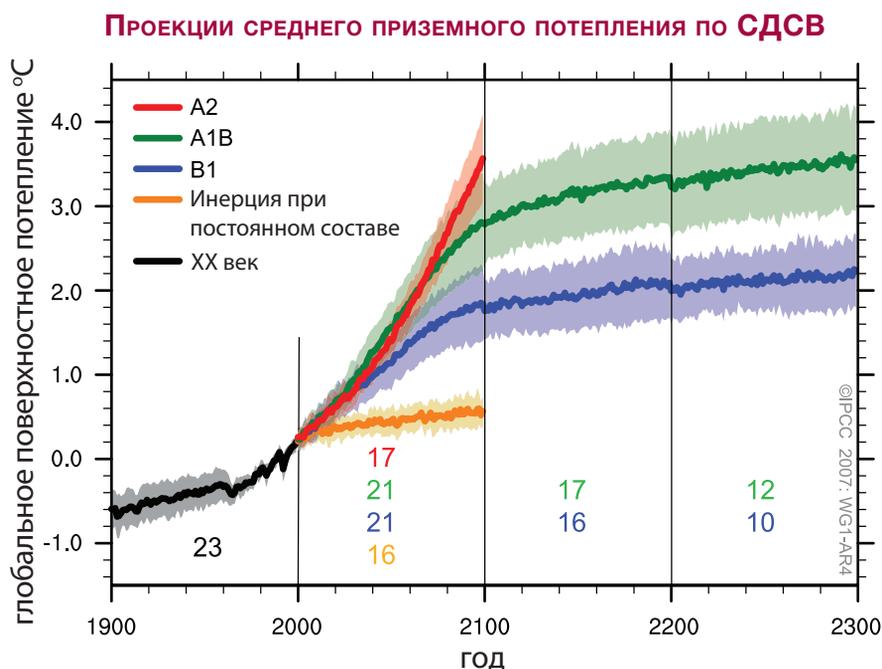


Рис. TS.32. Многомодельные средние значения приземного потепления (по сравнению с базовым периодом 1980-1999 гг.) для сценариев СДСВ A2 (красный), A1B (зеленый) и B1 (синий), показанные как продолжения моделирования на XX век. Последние два сценария продолжают за 2100 год при постоянном воздействии (инерция изменения климата, см. вставку TS.9). Показан также дополнительный эксперимент, в котором воздействие удерживается на уровне 2000 года (оранжевый). Линейные тренды из соответствующих контрольных прогонов из этих временных рядов удалены. Линии означают многомодельные средние, а затенение – диапазон среднеквадратичного отклонения ± 1 . Разрывы между разными периодами не имеют физического значения и вызваны тем, что количество моделей, в которых прогонялся данный сценарий, для каждого периода и сценария свое (числа, указанные на рисунке). По этой же причине из этого рисунка не следует истолковывать неопределенность по всем сценариям (оценки неопределенности приведены в разделе 10.5). {Рис. 10.4}

и уменьшаться в более теплом и сухом климате. Наблюдения показывают также увеличение выбросов CH_4 с северных торфяников, на которых идет таяние вечной мерзлоты, хотя порядок величины этого эффекта в больших масштабах количественно определен недостаточно. Изменения температуры, влажности и облачности могло бы также повлиять на биогенные выбросы прекурсоровозона, такие как летучие органические соединения. Как ожидается, изменение климата также повлияет на тропосферный озон – через изменения в химии и переносе. Изменение климата могло бы вызвать изменения в ОН посредством изменений во влажности и изменить концентрации стратосферного озона и, следовательно, солнечное ультрафиолетовое излучение в тропосфере. {7.4, 4.7}

На объем выбросов многих аэрозолей и их прекурсоров в будущем, как ожидается, будет влиять изменение климата. Оценки будущих изменений объемов выбросов пыли по нескольким сценариям климата и землепользования показывают, что последствия изменения климата более важны для контроля над выбросами пыли в будущем, чем изменения в землепользовании. Результаты одного исследования показывают, что метеорология и климат больше влияют на будущие выбросы пыли в Азии и соответствующую частоту пыльных бурь на этом континенте, чем опустынивание. Биогенные выбросы летучих органических соединений, значительный источник вторичных органических аэрозолей, как известно, сильно чувствительны к температуре (и увеличиваются при ее повышении). Вместе с тем, выбросы аэрозолей уменьшаются с повышением температуры, а эффекты изменения количества осадков и физиологической адаптации неопределенны. Таким образом, изменение формирования биогенных вторичных органических аэрозолей в более теплом климате могло бы быть значительно меньшим, чем реакция выбросов биогенного летучего органического углерода. Изменение климата может влиять на приток из океана диметилсульфида (который является прекурсором некоторых сульфатных аэрозолей) и морских солевых аэрозолей, однако влияние этого притока на температуру и осадки остается весьма неопределенным. {7.5}

Хотя вызванный углекислым газом эффект потепления остается обязательным на многие столетия, аэрозоли удаляются из атмосферы всего

лишь за несколько дней, поэтому отрицательное радиационное воздействие, вызванное аэрозолями, могло бы быстро измениться в ответ на изменения в выбросах аэрозолей либо их прекурсоров. Поскольку сульфатные аэрозоли, весьма вероятно, в настоящее время оказывают существенное отрицательное радиационное воздействие, то будущее суммарное воздействие очень чувствительно к изменениям в объеме выбросов сульфатов. В одном исследовании показано, что гипотетическое удаление из атмосферы всего нынешнего объема антропогенных сульфатно-аэрозольных частиц вызвало бы быстрый рост глобальной средней температуры приблизительно на $0,8^\circ\text{C}$ за одно-два десятилетия. Изменения в аэрозолях также могут влиять на осадки. Таким образом, влияние экологических стратегий, нацеленных на смягчение изменения климата, требует учета изменений в объеме выбросов как парниковых газов, так и аэрозолей. Изменения объема выбросов аэрозолей могут быть результатом мер, принятых для улучшения качества воздуха, которые, таким образом, могут иметь последствия для изменения климата. {Вставка 7.4, 7.6, 10.7}

Изменение климата изменило бы количество химических и физических процессов, которые регулируют качество воздуха, и совокупные эффекты, вероятно, разнятся в зависимости от региона. Изменение климата может влиять на качество воздуха, изменяя скорость рассеяния загрязняющих веществ, скорость, с которой аэрозоли и растворимые виды удаляются из атмосферы, общую химическую среду для формирования загрязняющих веществ и интенсивность выбросов из биосферы, пожаров и пыли. Изменение климата, как ожидается, также уменьшит глобальный озоновый фон. В общем совокупное влияние изменения климата на качество воздуха в высшей степени неопределенно. {Вставка 7.4}

TS.5.5 Последствия климатических процессов и их временных масштабов для долгосрочных проекций

Инерция изменения климата после стабилизации радиационного воздействия, как ожидается, составит около $0,5-0,6^\circ\text{C}$, главным образом в течение следующего столетия. Многомодельное среднее значение при стабилизации концентраций парниковых газов и аэрозолей на уровне 2000 года,

после моделирования климата XX века и прогона моделей еще на 100 лет, составляет в 2100 году около 0,6°C потепления (относительно 1980-1999 года) (см. рис. TS.32). Если бы сценарии B1 или A1B характеризовали объем выбросов в XXI веке с последующей стабилизацией на этих уровнях, то дополнительное потепление после стабилизации было бы аналогичным, около 0,5°C, главным образом в последующие сто лет. {10.3, 10.7}

Порядок величины положительной обратной связи между изменением климата и углеродным циклом неопределенный. Это ведет к неопределенности в динамике выбросов CO₂, необходимой для достижения конкретного уровня стабилизации концентрации CO₂ в воздухе. На основе нынешнего понимания обратной связи между климатом и углеродным циклом, модельные исследования показывают, что с целью стабилизации концентрации CO₂ на уровне 450 ppm совокупные выбросы в XXI столетии можно было бы снизить с модельного среднего, приблизительно 670 [630-710] ГтС, до приблизительно 490 [375-600] ГтС. Аналогичным образом, для стабилизации CO₂ на уровне 1000 ppm совокупный объем выбросов можно было бы уменьшить этой обратной связью с модельного среднего, равного приблизительно 1415 [1340-1490] ГтС, до приблизительно 1100 [980-1250] ГтС. {7.3, 10.4}

Если бы радиационное воздействие в 2100 году стабилизировалось на уровне концентрации сценария A1B, то тепловое расширение само по себе привело бы к 2300 году к повышению уровня моря на 0,3-0,8 м (по сравнению с 1980-1999 гг.) и продолжалось бы с уменьшающейся скоростью многие столетия вследствие медленных процессов, которые переносят тепло путем перемешивания в океанские глубины. {10.7}

Уменьшение Гренландского ледового щита, по проекциям, продолжит способствовать повышению уровня моря после 2100 года. Для стабилизации концентраций в 2100 году на уровне сценария A1B проецируется скорость повышения 0,03-0,21 м за столетие вследствие теплового расширения. Если бы глобальное среднее потепление на 1,9-

4,6°C относительно доиндустриальных температур поддерживалось тысячелетиями, то Гренландский ледовый щит в основном исчез бы, за исключением остатков ледников в горах. Это подняло бы уровень моря приблизительно на 7 м и могло бы быть необратимо. Эти температуры сопоставимы с полученными для последнего межледникового периода (125 тыс. лет назад), когда, по данным палеоклиматических исследований, наблюдалось уменьшение площади полярного льда и повышение уровня моря на 4-6 м. {6.4, 10.7}

Динамические процессы, не включенные в существующие модели, но предполагаемые по последним наблюдениям, могли повысить уязвимость ледовых щитов к потеплению, активизируя в будущем повышение уровня моря. Понимание этих процессов ограничено, и консенсуса относительно их вероятного порядка величины нет. {4.6, 10.7}

Текущие глобальные модельные исследования проецируют, что Антарктический ледовый щит останется слишком холодным для повсеместного поверхностного таяния, и масса его увеличится благодаря усилению снегопадов. Однако, если бы динамический вывод льда преобладал в балансе массы ледовых щитов, то имела бы место чистая потеря массы льда. {10.7}

Хотя ни одна из моделей, использованных для этой оценки, не показала резкого прекращения МОЦ в XXI веке, некоторые модели пониженной сложности дают в результате остановку МОЦ как возможную долгосрочную реакцию на достаточно сильное потепление. При этом, однако, вероятность такого исхода невозможно оценить с уверенностью. Немногие эксперименты с моделями разной сложности скорее показывают замедление в вековом масштабе. Восстановление МОЦ вероятно, если радиационное воздействие стабилизируется, но для этого необходимо было бы несколько столетий. Систематические исследования со сравнением моделей помогли установить некоторые ключевые процессы, вызывающие вариации между моделями в реакции океана на изменение климата (особенно в поглощении тепла океаном). {8.7, ЧЗВ 10.2, 10.3}

TS.6 Надежные выводы и ключевые неопределенности

TS.6.1 Изменения в человеческих и естественных факторах климата

Надежные выводы:

Нынешние атмосферные концентрации CO_2 и CH_4 , а также их соответствующее положительное радиационное воздействие намного превышают концентрации и воздействие, определенные по измерениям кернов льда, охватывающим последние 650 тыс. лет. {6.4}

Использование ископаемых видов топлива, сельское хозяйство и землепользование были доминирующей причиной повышения концентрации парниковых газов за последние 250 лет. {2.3, 7.3, 7.4}

Годовые объемы выбросов CO_2 в результате сжигания ископаемых видов топлива, производства цемента и сжигания попутного газа увеличились со среднего значения $6,4 \pm 0,4$ ГтС/год в 1990-е годы до $7,2 \pm 0,3$ ГтС/год за 2000-2005 годы. {7.3}

Устойчивая скорость увеличения радиационного воздействия CO_2 , CH_4 и N_2O за последние 40 лет выше, чем в любой другой момент по крайней мере за последние 2000 лет. {6.4}

Естественные процессы поглощения CO_2 океанами и земной биосферой удаляют около 50-60% антропогенных выбросов (т.е. выбросов ископаемого CO_2 и потока за счет изменений в землепользовании). Поглощения океанами и

земной биосферой схожи по порядку величины за последние десятилетия, однако поглощение земной биосферой более изменчиво. {7.3}

Практически определено, что антропогенные аэрозоли создают чистое отрицательное радиационное воздействие (охлаждающее влияние) с более высоким порядком величины в северном, нежели в южном полушарии. {2.9, 9.2}

Из новых оценок совокупного антропогенного воздействия парниковых газов, аэрозолей и изменений поверхности Земли чрезвычайно вероятно, что деятельность человека оказала существенное совокупное нагревающее влияние на климат с 1750 года. {2.9}

Влияние солнечного излучения на глобальное среднее радиационное воздействие значительно меньше, чем вклад повышения концентрации парниковых газов за индустриальный период. {2.5, 2.7}

Знание вклада минувших изменений на Солнце в радиационное воздействие на вековой временной шкале не основывается на прямых измерениях и поэтому сильно зависит от физического понимания. {2.7}

Ключевые неопределенности:

Весь диапазон процессов, ведущих к изменению свойств облаков аэрозолями, непонят в достаточной мере, и порядок величины соответствующих косвенных радиационных эффектов определен плохо. {2.4, 7.5}

Причины изменений содержания водяного пара в стратосфере и радиационное воздействие этого фактора не определены количественно надлежащим образом. {2.3}

Географическое распределение и временная эволюция радиационного воздействия вследствие изменений в аэрозолях на протяжении XX столетия не описаны надлежащим образом. {2.4}

Причины недавних изменений в темпах роста концентрации CH_4 в атмосфере недостаточно поняты. {7.4}

Роли различных факторов, повышающих концентрацию озона в тропосфере с доиндустриальных времен, не описаны надлежащим образом. {2.3}

Свойства земной поверхности и взаимодействие «земля-атмосфера», которые приводят к радиационному воздействию, не определены количественно надлежащим образом. {2.5}

Знание вклада минувших изменений на Солнце в радиационное воздействие в вековом временном масштабе не основывается на прямых измерениях и поэтому сильно зависит от физического понимания. {2.7}

TS.6.2 Наблюдения за изменениями климата

TS. 6.2.1 Атмосфера и земная поверхность

Надежные выводы:

Глобальные средние приземные температуры продолжают повышаться. Одиннадцать из 12 последних лет попали в число самых теплых 12 лет с 1850 года. {3.2}

Темпы приземного потепления повысились в середине 1970-х годов, и глобальная земная поверхность с тех пор нагревается почти в два раза быстрее, чем поверхность океана. {3.2}

Изменение в экстремумах приземной температуры соответствуют потеплению климата. {3.8}

Оценки температурных трендов в средних и нижних слоях тропосферы существенно улучшились. За период 1958-2005 годы температуры в нижних слоях

тропосферы повышаются несколько быстрее, чем приземные температуры.

Долгосрочные тренды с 1900 по 2005 годы наблюдались в количестве осадков во многих крупных регионах. {3.3}

Имел место рост количества случаев выпадения сильных осадков. {3.8}

С 1970-х годов засухи стали более распространенными, особенно в тропиках и субтропиках. {3.3}

Содержание водяного пара в тропосфере повысилось, по крайней мере с 1980-х годов. {3.4}

Ключевые неопределенности:

Данные радиозондов гораздо менее полные пространственно, чем данные наземных измерений, и есть доказательства того, что некоторые радиозондовые данные недостоверны, особенно в тропиках. Вероятно, что все данные о тропосферных температурных трендах все еще содержат остаточные погрешности. {3.4}

Хотя изменения в крупномасштабной атмосферной циркуляции очевидны, качество анализа стало высоким только после 1979 года, что усложняет анализ изменений и изменчивости, а также разграничение между ними. {3.5, 3.6}

Поверхностные и спутниковые наблюдения расходятся в оценке изменений облачности над океаном в общем количестве и в нижнем ярусе. {3.4}

Внутривековые изменения в ДСТ недостаточно поняты, частично вследствие ограниченности наблюдений за изменениями в облачности и аэрозолях. {3.2}

Сложности в измерении осадков остаются проблемной сферой при количественной оценке трендов в глобальных и региональных количествах осадков. {3.3}

Данные о влажности почвы и русловом стоке часто очень краткие и имеются только для нескольких регионов, что препятствует полному анализу изменений в засухах. {3.3}

Доступность данных наблюдений ограничивает типы экстремальных явлений, которые можно анализировать. Чем реже явление, тем сложнее выявить долговременные изменения, потому что случаев меньше. {3.8}

Информация о частоте и силе ураганов ограничена периодом до спутниковой эры. Есть вопросы о толковании спутниковых данных. {3.8}

Недостаточно доказательств для того, чтобы определить, существуют ли тренды в торнадо, граде, молниях и пыльных бурях в небольших пространственных масштабах. {3.8}

TS.6.2.2 Снег, лед и мерзлые грунты

Надежные выводы:

Количество снега на Земле уменьшается. С конца XIX века имеет место повсеместное отступление горных ледников. Скорость потери массы ледников и Гренландского ледового щита возрастает. {4.5, 4.6}

Площадь снежного покрова в северном полушарии уменьшилась. Период сезонного ледостава на реках и озерах за последние 150 лет сократился. {4.2, 4.3}

С 1978 года среднегодовая площадь арктического морского льда уменьшается, и минимальная площадь арктического морского льда в летнее время сократилась. {4.4}

В 1990-е годы на Антарктическом полуострове и шельфовом леднике Амундсена толщина льда уменьшилась. Движение ледников-притоков ускорилося, и в 2002 году произошло полное разрушение шельфового ледника Ларсен-Б. {4.6}

Температура наверху слоя вечной мерзлоты в Арктике с 1980-х годов повысилась, причем повышение составило до 3°C. Максимальная площадь сезонномерзлых грунтов в северном полушарии с 1900 года уменьшилась приблизительно на 7%, а их максимальная высота в Евразии с середины XX века понизилась приблизительно на 0,3 м. {4.7}

Ключевые неопределенности:

Глобального комплекта данных о снежном покрове, измеренных в точке, за период до 1960 года нет. Для спутниковой эры нет хорошо калиброванных данных о водяном эквиваленте снежного покрова. {4.2}

Недостаточно данных для того, чтобы сделать выводы о трендах толщины антарктического морского льда. {4.4}

Неопределенности в оценках потери массы ледников вытекают из ограниченности данных о глобальном количестве льда, неполных данных о зависимости между площадью и объемом, а также дисбаланса в географическом охвате. {4.5}

Оценки баланса массы шельфовых ледников и ледовых щитов, особенно для Антарктиды, ограничены калибровкой и проверкой изменений, выявленных спутниковой альтиметрией и гравиметрическими измерениями. {4.6}

Ограниченность знаний о процессах у подошвы ледников и о динамике шельфовых ледников ведет к большим неопределенностям в понимании процессов движения льда и стабильности ледовых щитов. {4.6}

TS. 6.2.3 Океаны и уровень моря**Надежные выводы:**

Глобальная температура (или теплосодержание океанов) с 1955 года повысилась. {5.2}

В последние десятилетия наблюдались крупномасштабные регионально согласованные тренды солёности с опреснением в субполярных регионах и повышением солёности в более мелководных частях тропиков и субтропиков. Эти тренды согласуются с изменениями количества осадков и выводом о более интенсивном переносе воды в атмосфере с низких широт в высокие и из Атлантического океана в Тихий. {5.2}

Глобальный средний уровень моря в XX столетии повысился. Есть убедительные доказательства того, что скорость повышения уровня моря возросла в период с середины XIX до середины XX века. В 1993-2003 годы уровень моря повышался быстрее, чем в 1961-2003 годы. {5.5}

Тепловое расширение океана и потеря массы ледников и ледяных шапок внесли существенный вклад в наблюдаемое повышение уровня моря. {5.5}

Наблюдаемая скорость повышения уровня моря за период 1993-2003 годы согласуется с суммой наблюдаемых вкладов теплового расширения и убыли материкового льда. {5.5}

Скорость изменения уровня моря за последние десятилетия географически не однородна. {5.5}

В результате поглощения антропогенного CO₂ с 1750 года кислотность поверхности океана повысилась. {5.4, 7.3}

Ключевые неопределенности:

Ограничения в выборке данных по океану означают, что десятилетняя изменчивость глобального теплосодержания, солёности и изменений уровня моря может быть оценена только с умеренной уверенностью. {5.2, 5.5}

Степень уверенности в наблюдениях трендов в МОЦ - низкая. {Вставка 5.1}

Повышение глобального среднего уровня моря с 1961 по 2003 годы представляется более значительным, чем может быть объяснено тепловым расширением и таянием материкового льда. {5.5}

TS.6.2.4 Палеоклимат

Надежные выводы:

Во время последнего межледниковья, около 125 тыс. лет назад, глобальный уровень моря, вероятно, был на 4-6 м выше нынешнего, главным образом из-за отступления полярного льда. {6.4}

Некоторые минувшие резкие изменения климата были, весьма вероятно, связаны с изменениями в циркуляции Атлантического океана и повлияли на климат в масштабе всего северного полушария. {6.4}

Весьма маловероятно, чтобы Земля естественным путем вошла еще в один ледниковый период минимум за 30 тыс. лет. {6.4}

Биогеохимические и биогеофизические обратные связи усилили климатические изменения в прошлом. {6.4}

Весьма вероятно, что средние температуры в северном полушарии во второй половине XX века были выше, чем в любой другой 50-летний период в последние 500 лет; вероятно, что этот период также был самым теплым 50-летним периодом за последние 1300 лет. {6.6}

Палеоклиматические данные с высокой степенью уверенности показывают, что засухи, длящиеся десятилетиями или более, были регулярной особенностью климата в нескольких регионах за последние 2000 лет. {6.6}

Ключевые неопределенности:

Механизмы наступления и развития минувшего резкого изменения климата и связанные с ними климатические пороги поняты недостаточно хорошо. Это ограничивает уверенность в способности моделей климата имитировать реалистичные резкие изменения. {6.4}

Степень, в которой ледовые щиты в прошлом отступали, темпы таких изменений и проходившие при этом процессы известны недостаточно хорошо. {6.4}

Знание изменчивости климата в южном полушарии и тропиках более чем за последние несколько сот лет ограничено отсутствием палеоклиматических данных. {6.6}

Разные амплитуды и изменчивость, наблюдаемые в имеющихся реконструкциях температур северного полушария на тысячелетней шкале, а также связь этих различий с выбором косвенных данных и методов статистической калибровки все еще необходимо согласовать между собой. {6.6}

Отсутствие обширных сетей косвенных данных о температуре за последние 20 лет ограничивает понимание того, как такие косвенные данные реагируют на быстрое глобальное потепление, и влияния других изменений в окружающей среде. {6.6}

TS.6.3 Понимание и атрибуция изменения климата

Надежные выводы:

Воздействие парниковых газов, весьма вероятно, вызвало основную часть наблюдаемого глобального потепления за последние 50 лет. Воздействие парниковых газов само по себе за последние полвека, вероятно, привело бы к большему потеплению, чем наблюдается сейчас, если бы не было компенсирующего охлаждающего эффекта аэрозолей и других воздействий. {9.4}

Крайне маловероятно (<5%), что глобальный характер потепления за последние полвека можно объяснить без внешнего воздействия, и весьма маловероятно, что оно вызвано только известными естественными внешними причинами. Потепление имело место и в океане, и в атмосфере, причем в то время, когда факторы естественного внешнего воздействия, вероятно, вызвали бы похолодание. {9.4, 9.7}

Вероятно, антропогенное воздействие способствовало общему потеплению, наблюдаемому в верхних нескольких сотнях метров океана во второй половине XX века. Антропогенное воздействие, приводящее к тепловому расширению за счет нагревания океана и потери массы ледников, весьма вероятно, способствовало повышению уровня моря во второй половине XX века. {9.5}

Существенная доля реконструированной внутривековой температурной изменчивости в северном полушарии за последние семь веков, весьма вероятно, может быть объяснена естественным внешним воздействием (извержениями вулканов и колебаниями солнечной активности). {9.3}

Ключевые неопределенности:

Уверенность в объяснении некоторых явлений по изменению климата антропогенным влиянием сейчас ограничивается неопределенностями в радиационном воздействии, а также неопределенностями в обратных связях и в наблюдениях. {9.4, 9.5}

Объяснение причин изменения климата в масштабах меньше континентального и во временных масштабах меньше 50 лет ограничена большей изменчивостью климата в меньших масштабах, неопределенностями в мелкомасштабных деталях внешнего воздействия и моделируемой реакции, а также неопределенностями в моделировании внутренней изменчивости в малых масштабах, в том числе в связи с режимами изменчивости. {9.4}

Степень уверенности в понимании вынужденных изменений в осадках и приземном давлении ниже, чем в понимании изменений температуры. {9.5}

Диапазон объяснений причин ограничен отсутствием формальных исследований причинно-следственных связей либо ограниченным их числом для некоторых явлений (например, для некоторых типов экстремальных явлений). {9.5}

Неполные глобальные комплекты данных для анализа экстремальных явлений и неопределенностей моделей до сих пор ограничивают регионы и типы исследований по выявлению экстремальных явлений, которые могут проводиться. {9.4, 9.5}

Несмотря на улучшенное понимание, неопределенности в моделируемой внутренней изменчивости климата ограничивают некоторые аспекты исследований причинно-следственных связей. Например, есть очевидные противоречия между оценками изменчивости теплосодержания океана по моделям и по наблюдениям. {5.2, 9.5}

Отсутствие исследований, количественно характеризующих вклады антропогенного воздействия в повышение теплосодержания океана или таяние ледников, вместе с открытой частью баланса уровня моря за 1961-2003 годы – одни из неопределенностей в количественном определении антропогенного вклада в повышение уровня моря. {9.5}

TS.6.4 Проекция будущих изменений климата

TS. 6.4.1 Оценка с помощью моделей

Надежные выводы:

Модели климата основываются на точно установленных физических принципах, и продемонстрировано, что они воспроизводят наблюдаемые особенности нынешнего климата и минувшие его изменения. Есть значительная степень уверенности в том, что МОЦАО дают достоверные количественные оценки будущего изменения климата, особенно в масштабе континентов и выше. Уверенность в этих оценках для некоторых переменных климата (например, температуры) выше, чем для других (например, осадков). {ЧЗВ 8.1}

Уверенность в моделях возросла благодаря:

- улучшению моделирования многих характеристик нынешнего климата, в том числе важных режимов изменчивости климата и периодов экстремальной жары и холода;
- повышению разрешающей способности моделей, улучшению вычислительных методов и параметризации, включению дополнительных процессов;
- более полным диагностическим тестам, в том числе тестам способности моделей давать прогнозы во временных масштабах от нескольких дней до года при инициализации наблюдаемыми условиями;
- усовершенствованной проверке моделей и расширенному диагностическому анализу поведения моделей благодаря координируемым на международном уровне усилиям по сбору и распространению результатов модельных экспериментов в стандартных условиях. {8.4}

Ключевые неопределенности:

Проверенный набор показателей моделей, сравнивающих результаты моделирования с результатами наблюдений, которые могли бы использоваться для сужения диапазона правдоподобных проекций климата, еще предстоит разработать. {8.2}

Большинство моделей продолжают сталкиваться с проблемами при отслеживании дрейфа климата, особенно в глубинах океана. Этот дрейф необходимо учитывать при оценке изменений во многих океанических переменных. {8.2}

Модели сильно различаются в своих оценках силы разных обратных связей в климатической системе. {8.6}

Остаются проблемы с моделированием некоторых режимов изменчивости, в основном колебания Маддена-Джулиана, периодического атмосферного блокирования и экстремальных осадков. {8.4}

Систематические ошибки обнаружены в большинстве моделей Южного океана; эти ошибки связаны с неопределенностью переходной реакции климата. {8.3}

Модели климата все еще ограничены тем пространственным разрешением, которого можно добиться при нынешних компьютерных ресурсах, потребностью в более обширных ансамблевых прогонах, необходимостью учитывать некоторые дополнительные процессы. {8.1–8.5}

TS. 6.4.2 Равновесная и переходная чувствительность климата

Надежные выводы:

Равновесная чувствительность климата, вероятно, находится в диапазоне 2-4,5°C, а наиболее вероятное значение равно приблизительно 3°C, исходя из множества ограничений в наблюдениях и моделировании. Весьма маловероятно, что она меньше 1,5°C. {8.6, 9.6, вставка 10.2}

Переходная чувствительность климата лучше ограничена, чем равновесная. Весьма вероятно, что она больше 1°C, и весьма маловероятно, что она больше 3°C. {10.5}

Есть достаточное понимание происхождения различий в равновесной чувствительности климата, полученной в разных моделях. Обратные связи по облачности – главный источник междумодельных различий в равновесной чувствительности климата, причем самый главный фактор здесь – низкая облачность. {8.6}

Новые эмпирические и модельные доказательства убедительно подтверждают совокупную обратную связь между водяным паром и вертикальным градиентом температуры, сила которой сопоставима с силой, которую показывают МОЦАО. {8.6}

Ключевые неопределенности:

Остаются значительные неопределенности в отношении того, как облака могли бы реагировать на глобальное изменение климата. {8.6}

TS.6.4.3 Глобальные проекции

Надежные выводы:

Даже если бы концентрации факторов радиационного воздействия стабилизировались, все равно следовало бы ожидать дальнейшего инерционного потепления и соответствующих изменений климата, главным образом из-за временных задержек, связанных с процессами в океанах. {10.7}

На краткосрочные проекции потепления мало влияют различные сценарные предположения или разная чувствительность моделей, и они согласуются с тем, что наблюдалось за последние несколько десятилетий. Многомодельное среднее потепление, усредненное за период 2011-2030 годы по сравнению с 1980-1999 годами, для всех рассмотренных здесь МОЦАО лежит в узком диапазоне 0,64-0,69°C для трех разных сценариев выбросов СДСВ - В1, А1В и А2. {10.3}

Географические характеристики проецируемого потепления показывают самое сильное повышение температуры в высоких северных широтах и над сушей, а менее сильное – над южными океанами и северной частью Атлантики. {10.3}

Изменения в осадках демонстрируют устойчивый крупномасштабный характер: количество осадков в общем увеличивается в тропических максимумах, уменьшается в субтропиках и увеличивается в высоких широтах как следствие общей активизации глобального гидрологического цикла. {10.3}

По мере потепления климата площадь снежного покрова и морского льда уменьшается; ледники и ледяные шапки теряют массу и способствуют повышению уровня моря. Площадь морского

льда сокращается в 21-м веке как в Арктике, так и в Антарктике. Уменьшение снежного покрова ускоряется в Арктике положительными обратными связями; повсеместное увеличение глубины оттепели имеет место в большей части районов вечной мерзлоты. {10.3}

На основании текущих моделей весьма вероятно, что МОЦ Атлантического океана к 2100 году замедлится. Весьма маловероятно, однако, что МОЦ подвергнется серьезному резкому переходу в течение XXI века. {10.3}

Волны тепла учащаются и становятся длиннее в будущем более теплом климате. Уменьшение числа морозных дней, согласно проекциям, будет иметь место практически везде в средних и высоких широтах, причем продолжительность вегетационного периода будет увеличиваться. Наблюдается тенденция летней засухливости в среднеконтинентальных районах, что означает более высокий риск засухи в этих районах. {10.3, ЧЗВ 10.1}

Будущее потепление снизило бы способность системы Земли (суши и океана) поглощать антропогенный углекислый газ. В результате все более и более значительная доля антропогенного CO₂ оставалась бы в атмосфере при более теплом климате. Эта обратная связь требует сокращения общих объемов выбросов для стабилизации на заданном уровне концентрации углекислого газа в атмосфере по сравнению с гипотетическим случаем, где такая обратная связь отсутствует. Чем выше сценарий стабилизации, тем сильнее изменяется климат, тем больше необходимое сокращение. {7.3, 10.4}

Ключевые неопределенности:

Вероятность серьезного резкого изменения в МОЦ после окончания XXI века еще нельзя оценить с достоверностью. Для сценариев низких и средних выбросов со стабилизацией атмосферных концентраций парниковых газов после 2100 года МОЦ восстанавливается после начального ослабления за одно или несколько столетий. Постоянное уменьшение МОЦ исключать нельзя, если воздействие достаточно сильное и длительное {10.7}

Модельные прогнозы экстремумов осадков демонстрируют более широкие диапазоны по амплитуде и географическому охвату, чем температуры. {10.3, 11.1}

Реакция некоторых основных режимов изменчивости климата, таких как ЭНСО, все равно отличается

в зависимости от модели, что можно связать с различиями в пространственном и временном представлении нынешних условий. {10.3}

Устойчивость реакций многих моделей тропических циклонов к изменению климата все равно ограничена разрешением типовых моделей климата. {10.3}

Изменения в ключевых процессах, которые определяют некоторые глобальные и региональные изменения климата (это, например, ЭНСО, САК, блокирование, МОЦ, обратные связи по земной поверхности, распределение тропических циклонов), плохо известны. {11.2–11.9}

Порядок величины будущих обратных связей по углеродному циклу все еще плохо определен. {7.3, 10.4}

TS.6.4.4 Уровень моря

Надежные выводы:

Уровень моря будет продолжать повышаться в XXI веке из-за теплового расширения и убыли материкового льда. Повышение уровня моря в прошлом не было географически однородным и не будет таким и в будущем. {10.6}

Проецируемое потепление вследствие выбросов парниковых газов в XXI столетии будет продолжать способствовать повышению уровня моря многие века. {10.7}

Повышение уровня моря из-за теплового расширения и потери массы ледовых щитов продолжалось бы веками, даже если бы радиационное воздействие стабилизировалось. {10.7}

Ключевые неопределенности:

Еще нет моделей, которые бы моделировали ключевые процессы, которые могли бы содействовать значительным быстрым динамическим изменениям в Антарктическом и Гренландском ледовых щитах, которые могли бы увеличить сток льда в океан. {10.6}

Чувствительность поверхностного баланса массы ледовых щитов (таяние и осадки) к глобальному изменению климата недостаточно хорошо ограничивается наблюдениями и демонстрирует большой разброс в моделях. Как результат, существует большая неопределенность в порядке величины глобального потепления, которое, если бы оно поддерживалось, привело бы к исчезновению Гренландского ледового щита. {10.7}

TS.6.4.5 Региональные проекции

Надежные выводы:

Температуры, усредненные по всем обитаемым континентам и по многим субконтинентальным районам суши, вероятно, будут повышаться со скоростью, большей, чем глобальная средняя скорость, в следующие 50 лет и на величину, которая существенно превышает естественную изменчивость. {10.3, 11.2–11.9}

Осадки, вероятно, будут увеличиваться в большинстве субполярных и полярных регионов. Это увеличение в годовом масштабе считается особенно устойчивым и весьма вероятным в большей части северной Европы, Канаде, северо-восточной части США и Арктике, а также – в зимний период – в северной части Азии и на Тибетском плато. {11.2–11.9}

Вероятно, осадки будут уменьшаться во многих субтропических регионах, особенно на обращенных к полюсу границах субтропиков. Уменьшение считается особенно устойчивым и весьма вероятным в годовом масштабе в европейских и африканских районах, граничащих со Средиземноморьем, а зимой – в юго-западной части Австралии. {11.2–11.9}

Экстремумы суточного количества осадков, вероятно, во многих районах повысятся. Повышение считается весьма вероятным в северной части Европы, южной части Азии, Восточной Азии, Австралии и Новой Зеландии – этот перечень частично отражает неравномерный географический охват уже проведенных исследований с опубликованными результатами. {11.2–11.9}

Ключевые неопределенности:

В некоторых регионах проводились лишь очень ограниченные исследования ключевых аспектов регионального изменения климата, особенно в отношении экстремальных явлений. {11.2–11.9}

Модели общей циркуляции системы «атмосфера-океан» демонстрируют отсутствие согласованности в моделированных региональных изменениях осадков в ряде ключевых регионов (например, северной части Южной Америки, северной части Австралии, Сахеле). {10.3, 11.2–11.9}

Во многих регионах, где благодаря топографии формируются мелкие пространственные масштабы климата, нет достаточной информации о том, как изменение климата будет выражаться в этих масштабах. {11.2–11.9}

Из отчета, принятого Рабочей группой I Межправительственной группы экспертов по изменению климата, но не утвержденного в деталях

Часто задаваемые вопросы

Цитирование ЧЗВ:

Данные часто задаваемые вопросы взяты непосредственно из глав основного доклада и собраны здесь. Ссылаясь на конкретные ЧЗВ, просьба указывать соответствующую главу доклада, из которой взят тот или иной ЧЗВ.

Ссылаясь на группу ЧЗВ, указывайте источник следующим образом:

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [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.

(МГЭИК, 2007, «Изменение климата, 2007 г.: физическая научная основа. Материал Рабочей группы I к Четвертому докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата об оценках» [Соломон, С., Д. Чин, М. Мэннинг, Чен Женлинь, М. Маркис, К.Б. Аверит, М. Тигнор и Х.Л. Миллер (ред.)])

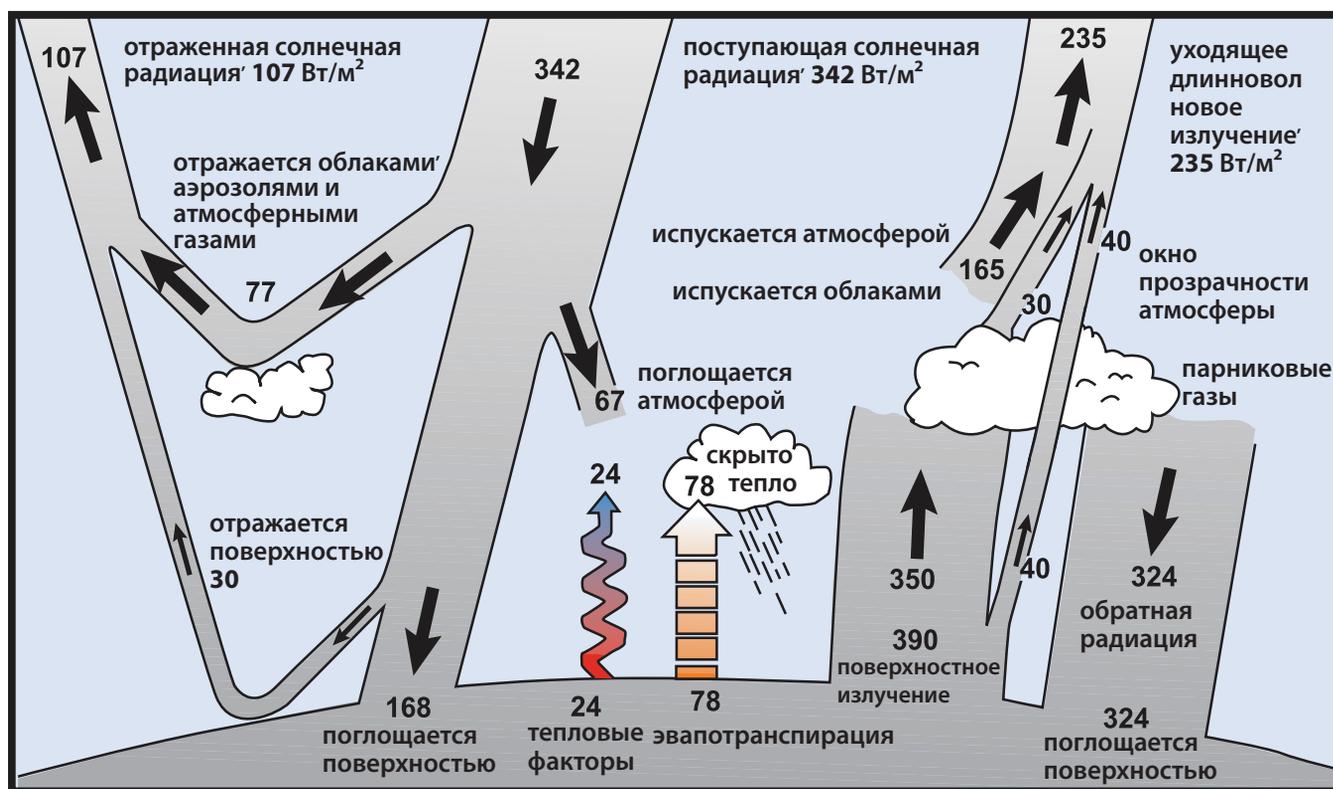
Часто задаваемый вопрос 1.1

Какие факторы определяют климат Земли?

Климатическая система – сложная, интерактивная система, состоящая из атмосферы, земной поверхности, снега и льда, океанов, других водных пространств и живых существ. Атмосферный компонент климатической системы наиболее очевидно характеризует климат; климат часто определяют как «среднюю погоду». Обычно климат описывают такими показателями, как средняя температура, изменчивость температуры, количество осадков и ветер за некоторый период времени, длительностью от нескольких месяцев до миллионов лет (классический период – 30 лет). Климатическая система развивается со временем под влиянием собственной динамики и вследствие изменений во внешних факторах, которые влияют на климат (их называют воздействиями). Внешние воздействия включают явления природы, такие как извержения вулканов и изменения солнечной активности, а также антропогенные изменения в составе атмосферы.

Солнечное излучение питает климатическую систему. Есть три основных пути изменения радиационного баланса Земли: 1) изменение поступающей солнечной радиации (например, вследствие изменений в орбите Земли или в самом Солнце); 2) изменение той доли солнечной радиации, которая отражается (ее называют «альбедо», например, вследствие изменений в облачном покрове, атмосферных частицах или растительности); 3) изменение длинноволнового излучения Земли обратно в космос (например, путем изменения концентраций парниковых газов). Климат, в свою очередь, реагирует на такие изменения как прямо, так и косвенно, посредством самых разнообразных механизмов обратной связи.

Количество энергии, достигающее верхнего слоя атмосферы Земли, в расчете на один квадратный метр поверхности, обращенный к Солнцу, в дневное время составляет около 1370 Вт в секунду, а количество энергии на квадратный метр



ЧЗВ 1.1, рис. 1. Оценка годового и глобального среднего энергетического баланса Земли. В долгосрочном разрезе количество поступающей солнечной радиации, поглощаемой Землей и атмосферой, уравнивается тем, что Земля и атмосфера излучают одно и то же количество уходящего длинноволнового излучения. Около половины поступающей солнечной радиации поглощается поверхностью Земли. Эта энергия передается в атмосферу путем нагревания воздуха, контактирующего с поверхностью (тепловыми факторами), посредством эвапотранспирации и за счет длинноволнового излучения, которое поглощают облака и парниковые газы. Атмосфера, в свою очередь, излучает длинноволновую энергию обратно на Землю, а также в космос. Источник: Kiehl and Trenberth (1997).

в секунду в среднем по всей планете равно четвертой части этой величины (см. рис. 1). Около 30% солнечного света, достигающего верхних слоев атмосферы, отражается обратно в космос. Приблизительно на две трети эта отражательная способность обусловлена облаками и мелкими частицами в атмосфере, известными как «аэрозоли». Светлые цветные участки Земли – в основном снег, лед и пустыни – отражают остальную треть солнечного света. Наиболее существенное изменение обусловленной аэрозолями отражательной способности имеет место, когда в результате извержений больших вулканов высоко в атмосферу выбрасываются различные материалы.

Дождь, как правило, вычищает аэрозоли из атмосферы за одну-две недели, но когда в результате интенсивного извержения вулкана разные вещества выбрасываются выше самых высоких облаков, эти аэрозоли, как правило, влияют на климат в течение одного года или двух лет, и лишь потом выпадают в тропосферу и переносятся на поверхность с осадками. Поэтому сильные извержения вулканов могут вызывать падение средней глобальной температуры поверхности приблизительно на полградуса Цельсия, что может продолжаться месяцами и даже годами. Некоторые искусственные аэрозоли также существенно отражают солнечный свет.

Энергия, которая не отражается обратно в космос, поглощается поверхностью Земли и атмосферой. Это количество составляет около 240 ватт на квадратный метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$). Чтобы уравновесить поступающую энергию, Земля сама должна излучать обратно в космос в среднем то же самое количество энергии. Земля делает это путем излучения уходящей длинноволновой радиации. Такое количество энергии человек чувствует от огня; чем теплее объект, тем больше тепловой энергии он излучает. Чтобы излучить $240 \text{ Вт}/\text{м}^2$, земной поверхности пришлось бы иметь температуру около -19°C . Это гораздо холоднее тех условий, которые активно существуют на поверхности Земли (глобальная средняя приземная температура – около 14°C), тогда необходимые -19°C наблюдаются на высоте около 5 км от земной поверхности.

Причина, по которой поверхность Земли настолько теплая, состоит в присутствии парниковых газов, которые действуют как частичный покров для длинноволнового излучения, поступающего с земной поверхности. Это явление известно как естественный парниковый эффект. Самые важные парниковые газы – водяной пар и углекислый газ. Два наиболее распространенных компонента атмосферы – азот и кислород – такого эффекта не имеют. Облака, с другой стороны, оказывают покровный эффект, схожий с действием парниковых газов, однако этот эффект нивелируется их отражательной способностью, так что в среднем облака, как правило, оказывают на климат охлаждающее действие (хотя можно локально почувствовать и нагревающее действие: облачными ночами погода, как правило, остается более теплой, чем ясными ночами, так как облака излучают длинноволновую энергию обратно на земную поверхность).

Деятельность человека усиливает покровный эффект вследствие выбросов парниковых газов. Например, объем выбросов углекислого газа в атмосферу в индустриальную эпоху увеличился приблизительно на 35%, причем, как известно, этот рост вызван деятельностью человека, главным образом, сжиганием ископаемых топлив и вырубкой лесов. Таким образом, человечество радикально изменило химический состав атмосферы Земли, что существенно повлияло на климат.

Поскольку Земля представляет собой сферу, то в тропиках на данную площадь поверхности приходится больше солнечной энергии, чем в более высоких широтах, где солнечный свет падает на атмосферу под меньшим углом. Энергия переносится из экваториальных областей в более высокие широты посредством атмосферной и океанической циркуляции, в том числе штормовыми системами. Энергия необходима также для испарения воды с морской или земной поверхности, и эта энергия, называемая скрытой теплотой, высвобождается, когда водяной пар конденсируется в облаках (см. рис. 1). Атмосферная циркуляция вызвана, главным образом, высвобождением этой скрытой теплоты. В свою очередь, атмосферная циркуляция вызывает большую часть океанической циркуляции, благодаря действию ветров на поверхностные воды океана, а также вследствие изменений температуры поверхности и солёности океана из-за осадков и испарения.

Вследствие вращения Земли атмосферная циркуляция ориентирована больше с востока на запад, чем с севера на юг. Присущие средним широтам западные ветры – это крупномасштабные погодные системы, благодаря действию которых тепло переносится к полюсам. Эти погодные системы – знакомые нам мигрирующие области низкого и высокого давления и связанные с ними холодные и теплые фронты. Из-за температурных контрастов между сушей и океаном и таких преград, как горные хребты и ледниковые щиты, атмосферные волны циркуляционной системы планетарного масштаба, как правило, географически фиксируются континентами и горами, хотя их амплитуда может со временем изменяться. Из-за такой волновой картины особенно холодная зима в Северной Америке может быть связана с особенно теплой зимой в другом месте северного полушария. Изменения в различных аспектах климатической системы, таких как размер ледниковых щитов, тип и распределение растительности, температура атмосферы или океана, будут влиять на крупномасштабные циркуляционные характеристики атмосферы и океанов.

В климатической системе присутствует множество механизмов обратной связи, которые могут либо усиливать («положительная обратная связь»), либо ослаблять («отрицательная обратная связь») эффекты изменения климатического воздействия. Например, по мере потепления климата Земли из-за повышающихся концентраций парниковых газов снег и лед начинают таять. В результате этого таяния обнажаются более темные земные и водные поверхности, которые были скрыты под снегом и льдом, и эти

более темные поверхности поглощают больше тепла Земли, вызывая дальнейшее потепление, что вызывает дальнейшее таяние, и так далее, т.е. имеет место самоусиливающийся цикл. Этот контур обратной связи, известный как «обратная связь между льдом и альбедо», усиливает первоначальное

потепление, вызванное повышением уровней концентрации парниковых газов. Выявление, понимание и точное измерение климатической обратной связи находится в центре большого количества исследований, проводимых учеными, разгадывающими сложные загадки климата Земли.

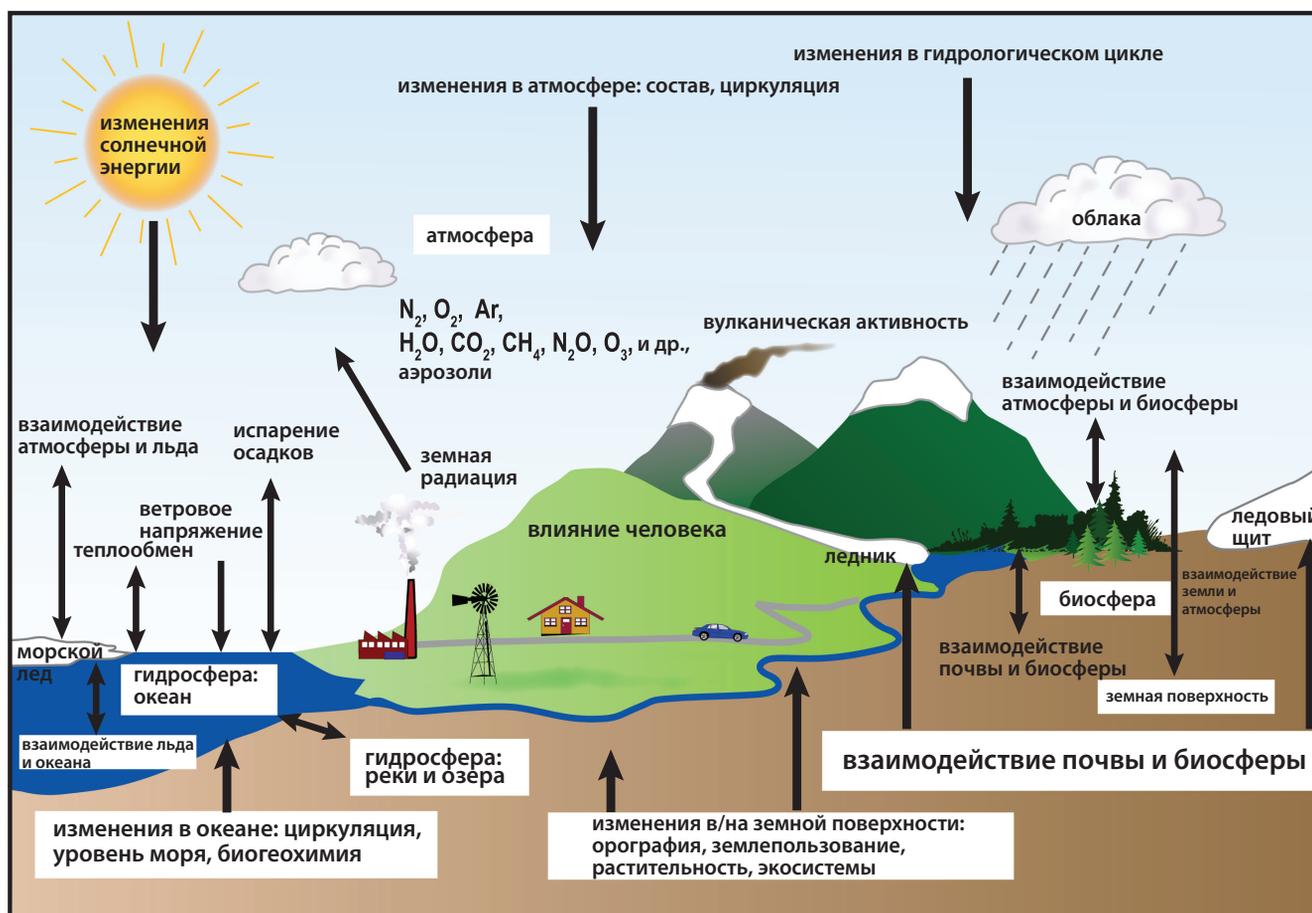
Часто задаваемый вопрос 1.2

Какова связь между изменением климата и погодой?

Климат обычно определяют как среднюю погоду, и изменение климата как таковое и погода переплетены между собой. Наблюдения показывают, что имеют место изменения погоды, и именно статистика изменений погоды во времени позволяет выявить изменение климата. Хотя погода и климат тесно связаны, между ними есть и важные различия. Погоду и климат обычно путают, когда у ученых спрашивают, как им удастся предсказать климат на 50 лет вперед, а погоду на несколько недель вперед предсказать они не могут. Хаотический характер погоды делает невозможным ее прогнозирование больше чем на несколько дней. Прогнозирование изменений климата (т.е. долговременной средней погоды) вследствие изменений в составе атмосферы или иных факторов – совершенно другая и более осуществимая задача. Проведем аналогию: невозможно предсказать возраст, в котором умрет тот или иной человек, однако можно с высокой степенью

уверенности сказать, что средний возраст смерти мужчин в промышленно развитых странах – около 75 лет. Еще одно распространенное заблуждение в отношении этих вопросов – думать, что холодная зима или прохладное место на планете свидетельствует против глобального потепления. Всегда существуют экстремумы тепла и холода, хотя их частота и интенсивность изменяются по мере изменения климата. Если же погоду усреднить по пространству и времени, то из этих данных будет очевидно, что Земля нагревается.

Метеорологи прилагают колоссальные усилия для наблюдения, понимания и предсказания ежедневной эволюции погодных систем. Используя основанные на физике концепции, которые управляют тем, как атмосфера движется, нагревается, охлаждается, как идет дождь или снег, как испаряется вода, метеорологи обычно могут успешно предсказывать погоду на несколько дней вперед. Значительный ограничивающий



ЧЗВ 1.2, рис. 1. Схематическое изображение компонентов климатической системы, их процессов и взаимодействия.

фактор для предсказуемости погоды более чем на несколько дней состоит в присутствии в атмосфере динамического свойства. В 1960-е годы Эдвард Лоренц обнаружил, что очень незначительные различия в начальных условиях могут давать весьма разные результаты прогнозов.

Это – так называемый эффект бабочки: бабочка, машущая крыльями (или какое-либо иное незначительное явление), в одном месте, может, в принципе, изменить последующую погодную ситуацию в каком-то отдаленном месте. В основе этого эффекта лежит теория хаоса, изучающая вопрос о том, как незначительные изменения в определенных переменных могут вызывать очевидную случайность в сложных системах.

Тем не менее, теория хаоса не предполагает полного отсутствия порядка. Например, незначительное изменение условий на раннем этапе истории могут изменить день, в который придет шторм, или точную траекторию его следования, однако средняя температура и количество осадков (т.е. климат) в данном регионе и на данный период времени останутся практически прежними. Поскольку значительная проблема, стоящая перед синоптиками, состоит в том, чтобы знать все условия на начальный момент периода прогноза, может быть полезно думать о климате как о фоновых условиях для погоды. Говоря точнее, климат можно рассматривать как касающийся состояния всей системы Земли, включая атмосферу, сушу, океаны, снег, лед и живые существа (см. рис. 1), служащие глобальными фоновыми условиями, которые определяют синоптическую ситуацию. В качестве примера здесь можно было бы привести явление Эль-Ниньо, которое влияет на погоду в прибрежной части Перу. Эль-Ниньо устанавливает пределы для вероятной эволюции синоптической ситуации, которую могут вызвать случайные эффекты. Явление Ла-Нинья установило бы другие пределы.

Другой пример можно увидеть в знакомом контрасте между летом и зимой. Смена времен года обусловлена изменениями

в географическом распределении энергии, поглощаемой и излучаемой системой Земли. Аналогичным образом, прогнозы

будущего климата формируются основополагающими изменениями в тепловой энергии системы Земли, в частности, возрастающей интенсивностью парникового эффекта, который удерживает тепло вблизи поверхности Земли, в зависимости от объема углекислого газа и других парниковых газов в атмосфере. Прогнозирование изменений климата вследствие изменений объема парниковых газов на 50 лет вперед – совсем другая и гораздо легче решаемая проблема, чем прогнозирование погоды на несколько недель. Иными словами, долгосрочные колебания, вызванные изменениями в составе атмосферы, предсказать гораздо легче, нежели отдельные погодные явления. Пример: мы не можем предсказать результат одного бросания монеты или кости, но можем предсказать статистическое поведение большого количества таких попыток.

Хотя влиять на климат продолжает много факторов, ученые определили, что доминирующей силой стала деятельность человека, которая является основной причиной потепления, наблюдаемого за последние 50 лет. Антропогенное изменение климата стало результатом, главным образом, изменений объемов парниковых газов в атмосфере, а также изменений содержания мелких частиц (аэрозолей) или, например, изменений в землепользовании. По мере изменения климата вероятность определенных типов метеорологических влений также изменяется. Например, по мере повышения средней температуры Земли некоторые метеорологические явления участились и стали более сильными (например, волны тепла и сильные ливни), тогда как частота и интенсивность других (например, крайне холодных периодов) уменьшилась.

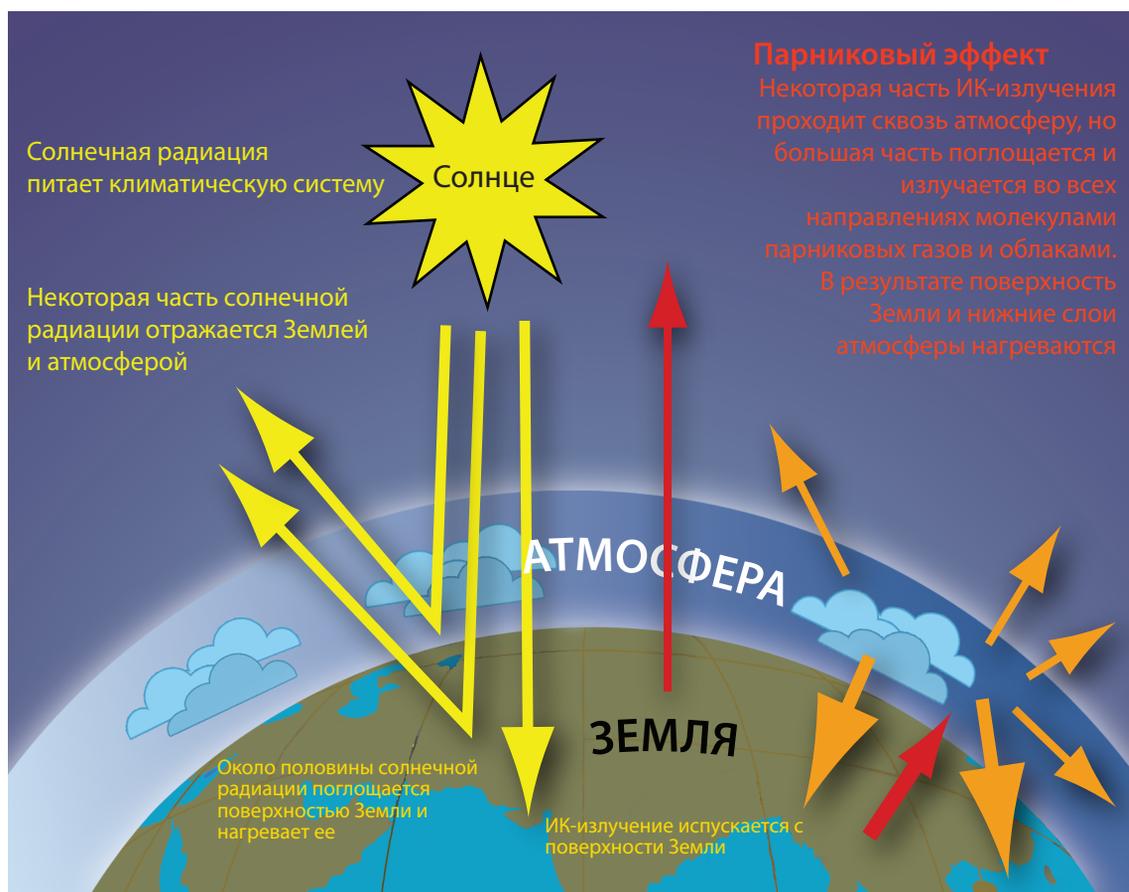
Часто задаваемый вопрос 1.3

Что такое парниковый эффект?

Солнце питает климат Земли, излучая энергию на очень коротких волнах, преимущественно в видимой или почти видимой (т.е. ультрафиолетовой) области спектра. Приблизительно треть солнечной энергии, достигающей верхних слоев атмосферы Земли, непосредственно отражается обратно в космос. Остальные две трети поглощает земная поверхность и, в меньшей степени, атмосфера. Чтобы уравновесить поглощаемую поступающую энергию, Земля должна в среднем излучать обратно в космос то же количество энергии. Поскольку Земля гораздо холоднее Солнца, она излучает энергию на гораздо более длинных волнах, преимущественно в инфракрасной области спектра (см. рис. 1). Большая часть этого теплого излучения, испускаемого сушей и океаном, поглощается атмосферой, в том числе облаками, и вновь излучается на Землю. Это явление называют парниковым эффектом. Стеклопленочные парники уменьшают поток воздуха и повышают температуру воздуха внутри парника. Аналогичным образом, но при другом физическом процессе

парниковый эффект на Земле нагревает ее поверхность. Без естественного парникового эффекта средняя температура на поверхности Земли была бы ниже точки замерзания воды. Таким образом, естественный парниковый эффект Земли делает жизнь, какой мы ее знаем, возможной. Вместе с тем, деятельность человека, главным образом сжигание ископаемых видов топлива и сведение лесов, значительно усилила естественный парниковый эффект, вызвав глобальное потепление.

Два самых распространенных в атмосфере газа, азот (составляющий 78% сухой атмосферы) и кислород (21%), почти не вызывают парникового эффекта. Последний является результатом действия молекул, которые более сложны и гораздо менее распространены. Самый важный парниковый газ – водяной пар, а второй по значению – углекислый газ (CO_2). Метан, закись азота, некоторые другие газы, присутствующие в атмосфере в небольших количествах, также способствуют парниковому эффекту. Во влажных экваториальных регионах,



ЧЗВ 1.3, рис. 1. Идеализированная модель естественного парникового эффекта. Пояснения см. в тексте.

где количество водяного пара в воздухе настолько велико, что парниковый эффект очень значителен, небольшое увеличение количества CO₂ или водяного пара оказывает лишь незначительное прямое воздействие на нисходящее инфракрасное излучение. В холодных, сухих полярных регионах, напротив, последствия небольшого увеличения количества CO₂ или водяного пара более значительны. То же касается холодных, сухих верхних слоев атмосферы, где небольшое увеличение содержания водяного пара сильнее влияет на парниковый эффект, чем вблизи поверхности Земли.

На концентрацию парниковых газов в атмосфере влияют несколько компонентов климатической системы, главным образом океаны и живые существа. Один из первых примеров этого – поглощение растениями углекислого газа из атмосферы и преобразование его (и воды) в углеводы посредством фотосинтеза. В индустриальную эпоху деятельность человека способствовала увеличению выбросов парниковых газов в атмосферу, в основном из-за сжигания ископаемых видов топлива и сведения лесов.

Увеличение выбросов парникового газа, такого как CO₂, в атмосферу усиливает парниковый эффект, нагревая таким образом климат Земли. Степень потепления зависит от разных механизмов обратной связи. Например, по мере потепления атмосферы вследствие повышения концентрации

парниковых газов растет концентрация водяного пара в ней, что еще более усиливает парниковый эффект. Это, в свою очередь, вызывает дальнейшее потепление, что становится причиной нового увеличения концентрации водяного пара, т.е. имеет место самоусиливающийся цикл. Эта обратная связь по водяному пару может быть достаточно сильной для того, чтобы приблизительно удвоить интенсивность парникового эффекта за счет одного только увеличения концентрации CO₂.

Среди других важных механизмов обратной связи – облака. Облака эффективно поглощают инфракрасное излучение и, следовательно, вызывают значительный парниковый эффект, нагревая таким образом Землю. Они также активно отражают поступающую солнечную радиацию, таким образом охлаждая Землю. Изменение практически любой характеристики облаков, в частности, их типа, размещения, содержания воды, высоты, размера и формы частиц, времени жизни, влияет на степень, в которой облака нагревают или охлаждают Землю. Некоторые изменения усиливают потепление, а некоторые ослабляют его. Проводится много исследований, направленных на то, чтобы лучше понять, как именно облака изменяются в ответ на потепление климата и как эти изменения влияют на климат через различные механизмы обратной связи.

Часто задаваемый вопрос 2.1

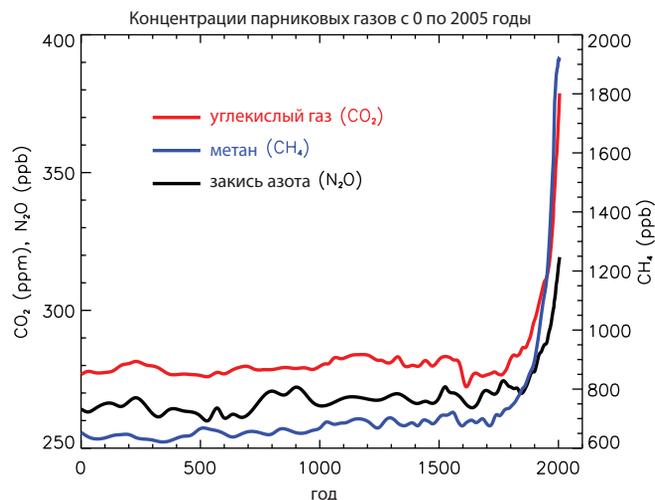
Как деятельность человека влияет на изменение климата и насколько велико ее влияние по сравнению с естественными явлениями?

Деятельность человека способствует изменению климата, вызывая изменения концентрации в атмосфере парниковых газов, аэрозолей (мелких частиц) и облачности. Наибольший известный вклад вносит сжигание ископаемых видов топлива, при котором в атмосферу выбрасывается углекислый газ. Парниковые газы и аэрозоли влияют на климат путем изменения поступающего солнечного излучения и уходящего инфракрасного (теплого) излучения, которые являются частью энергетического баланса Земли. Изменение избытка этих газов или частиц в атмосфере или их свойств может привести к потеплению или охлаждению климатической системы. С начала индустриальной эпохи (около 1750 г.) общим эффектом деятельности человека для климата стало потепление. Влияние человека на климат на протяжении этой эпохи значительно превышает воздействие в результате известных изменений в естественных процессах, таких как изменения на Солнце и извержения вулканов.

Парниковые газы

Деятельность человека приводит к выбросам четырех основных парниковых газов: углекислого газа (CO_2), метана (CH_4), закиси азота (N_2O) и галоидоуглеводородов (группы газов, в которую входят фтор, хлор и бром). Эти газы накапливаются в атмосфере, вызывая со временем повышение концентрации. В индустриальную эпоху имели место значительные увеличения концентрации всех этих газов (см. рис. 1). Все эти увеличения можно отнести на счет деятельности человека.

- Рост выбросов углекислого газа стал результатом расширения использования ископаемых видов топлива в транспортной отрасли, в отоплении и охлаждении зданий, в производстве цемента и другой продукции. Обезлесение приводит к высвобождению CO_2 и сокращает его поглощение растениями. Углекислый газ также высвобождается в естественных процессах, таких как гниение растительной массы.
- Выбросы метана увеличились в результате деятельности человека, связанной с сельским хозяйством, распределением природного газа и деятельностью свалок. Метан также высвобождается при естественных процессах, которые происходят, например, на водно-болотных угодьях. В атмосфере концентрация метана сейчас не увеличивается, так как за последние два десятилетия темпы роста снизились.
- Выбросы закиси азота также являются следствием деятельности человека, в частности, применения удобрений и сжигания ископаемых видов топлива. N_2O также



ЧЗВ 2.1, рис 1. Концентрации важных долгоживущих парниковых газов в атмосфере за последние 2000 лет. Рост после 1750 года вызван деятельностью человека в индустриальную эпоху. Единицы концентрации – частей на миллион (ppm) или частей на миллиард (ppb); они означают число молекул парникового газа соответственно на миллион или миллиард молекул воздуха в атмосферной пробе. (Здесь сведены и упрощены данные из глав 6 и 2 настоящего доклада.)

высвобождается в ходе естественных процессов в почвах и океанах.

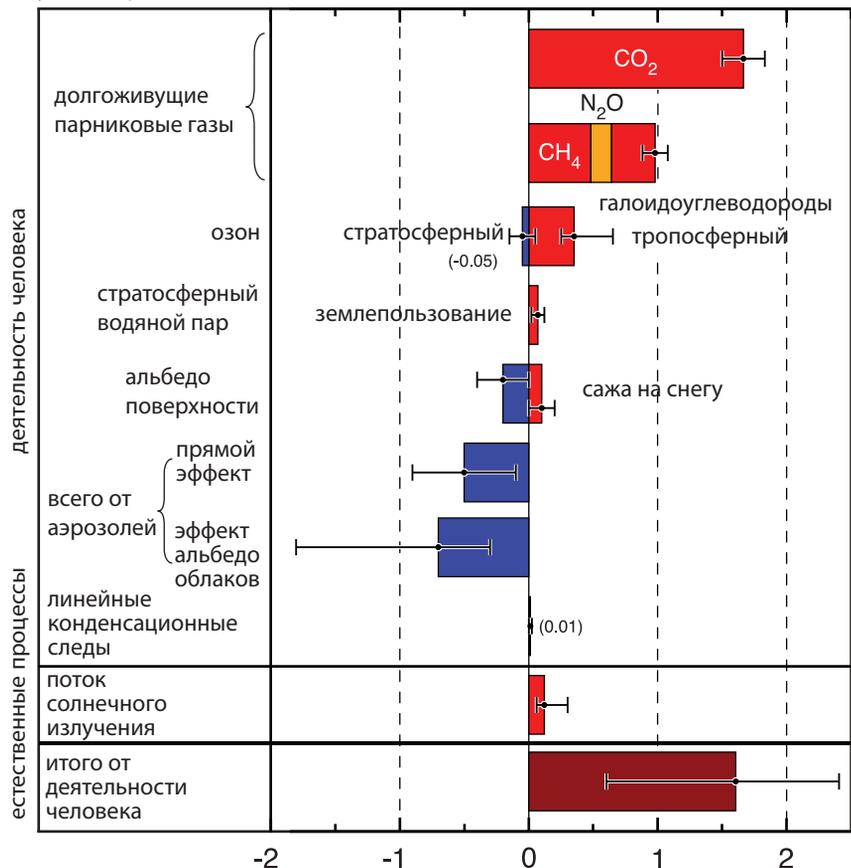
- Концентрация галоидоуглеводородов возросла, в основном, из-за деятельности человека. Незначительный вклад вносят и естественные процессы. Среди основных галоидоуглеводородов – фреоны (например, ХФУ-11 и ХФУ-12), которые широко применялись как охлаждающие вещества и в других промышленных процессах до того, как было установлено, что их присутствие в атмосфере вызывает истощение стратосферного озона. Избыток фреонов сокращается в результате введения международных норм, призванных защитить озоновый слой.
- Озон – это парниковый газ, который непрерывно вырабатывается и уничтожается в атмосфере в ходе химических реакций. В тропосфере количество озона увеличилось вследствие деятельности человека, благодаря выбросам таких газов, как окись углерода, углеводороды и окись азота, в ходе химической реакции которых образуется озон. Как упоминалось выше, галоидоуглеводороды, образуемые в процессе деятельности человека, разрушают озон в стратосфере и уже привели к образованию озоновой дыры над Антарктидой.
- Самый распространенный и важный парниковый газ в атмосфере – водяной пар. Тем не менее, деятельность человека оказывает лишь незначительное прямое воздействие на содержание водяного пара в атмосфере. Если говорить о косвенном влиянии, то люди могут существенно

воздействовать на количество водяного пара путем изменения климата. Например, более теплая атмосфера содержит больше водяного пара. Деятельность человека также влияет на водяной пар посредством выбросов CH_4 , так как CH_4 подвергается в стратосфере химическому разрушению, выделяя незначительное количество водяного пара.

- Аэрозоли – это присутствующие в атмосфере мелкие частицы, размер, концентрация и химический состав которых очень сильно различаются. Некоторые аэрозоли испускаются прямо в атмосферу, а некоторые образуются из испускаемых соединений. Аэрозоли содержат как естественные соединения, так и соединения, выброшенные в атмосферу в ходе деятельности человека. Сжигание ископаемых видов топлива и биомассы увеличили концентрацию аэрозолей, содержащих соединения серы, органические соединения и углеродную сажу (копоть).

Аэрозоли – это присутствующие в атмосфере мелкие частицы, размер, концентрация и химический состав которых очень сильно различаются. Некоторые аэрозоли испускаются прямо в атмосферу, а некоторые образуются из испускаемых соединений. Аэрозоли содержат как естественные соединения, так и соединения, выброшенные в атмосферу в ходе деятельности человека. Сжигание ископаемых видов топлива и

Радиационное воздействие климата, 1750–2005 гг.
условия радиационного воздействия



ЧЗВ 2.1, рис. 2. Сводка всех основных компонентов радиационного воздействия изменения климата. Все эти радиационные воздействия являются результатом одного или нескольких факторов, которые влияют на климат и связаны с деятельностью человека либо с естественными процессами, которые упоминаются в тексте. Значения представляют воздействия по состоянию на 2005 год по сравнению с началом индустриальной эпохи (около 1750 г.). Деятельность человека вызывает значительные изменения концентрации долгоживущих газов, озона, водяного пара, альbedo поверхности, аэрозолей и конденсационных следов. За период с 1750 по 2005 год единственным сколько-нибудь значительным естественным воздействием был поток солнечного излучения. Положительные воздействия приводят к потеплению климата, а отрицательные – к похолоданию. Тонкая черная линия на каждом цветном столбике обозначает диапазон погрешности для соответствующего значения. (Рисунок адаптирован из рис. 2.20.)

ЧЗВ 2.1, Вставка 1: Что такое радиационное воздействие?

Что такое радиационное воздействие? Влияние фактора, который может вызвать изменение климата, например, парникового газа, часто оценивают с точки зрения его радиационного воздействия. Радиационное воздействие – это мера того, как энергетический баланс системы Земля-атмосфера меняется, когда изменяются факторы, влияющие на климат. Слово «радиационное» используется потому, что эти факторы изменяют баланс между поступающей солнечной радиацией и уходящим инфракрасным излучением в атмосфере Земли. Этот радиационный баланс управляет температурой поверхности Земли. Термин «воздействие» используется для того, чтобы показать, что радиационный баланс Земли сдвигается в сторону от своего нормального состояния.

Радиационное воздействие обычно количественно измеряется как «скорость изменения энергии на единицу площади Земли, измеренная в верхних слоях атмосферы» и выражается в единицах «ватт на квадратный метр» (см. рис. 2). Если радиационное воздействие фактора или группы факторов оценивается как положительное, энергия системы Земля-атмосфера в конечном итоге возрастает, приводя к потеплению системы. Если же радиационное воздействие отрицательное, то, наоборот, энергия уменьшится, что приведет к охлаждению системы. Важные задачи для климатологов – выявить все факторы, влияющие на климат, и механизмы, которыми они оказывают воздействие, количественно измерить радиационное воздействие каждого фактора и оценить суммарное радиационное воздействие группы факторов.

биомассы увеличили концентрацию аэрозолей, содержащих соединения серы, органические соединения и углеродную сажу (копоть).

Радиационное воздействие факторов, на которые влияет деятельность человека

Вклад радиационного воздействия некоторых факторов, на которые влияет деятельность человека, показан на рис. 2. Значения отражают общее воздействие относительно начала индустриальной эпохи (около 1750 г.). Воздействие увеличения содержания всех парниковых газов, которое наиболее понятно из всех воздействий, вызванных деятельностью человека, положительно, потому что каждый газ поглощает уходящее инфракрасное излучение в атмосфере. За этот период наибольшее воздействие из парниковых газов вызвало увеличение содержания CO_2 . Потеплению также способствовало увеличение содержания тропосферного озона, тогда как уменьшение количества стратосферного озона содействовало охлаждению.

Аэрозольные частицы прямо влияют на радиационное воздействие путем отражения и поглощения солнечного и инфракрасного излучения в атмосфере. Некоторые аэрозоли вызывают положительное воздействие, а некоторые – отрицательное. Совокупное прямое радиационное воздействие всех типов аэрозолей отрицательно. Аэрозоли также вызывают отрицательное радиационное воздействие косвенно, через изменения, которые они вызывают в свойствах облаков.

Деятельность человека с начала индустриальной эпохи изменила характер поверхности суши на всей планете, главным образом из-за изменений в пахотных землях, пастбищах и лесах. Она также изменила отражательные свойства льда и снега. В целом, вполне вероятно, что сейчас в результате деятельности человека от поверхности Земли отражается все больше солнечного излучения. Это изменение приводит к отрицательному воздействию.

Самолеты создают стойкие линейные конденсационные следы в регионах, где преобладают низкие температуры и высокая влажность. Конденсационные следы – это форма перистого облака, которая отражает солнечную радиацию и поглощает инфракрасное излучение. Линейные конденсационные следы глобальных воздушных перевозок повысили облачность и, по оценкам, вызывают небольшое положительное радиационное воздействие.

Радиационное воздействие естественных изменений

Естественные воздействия возникают вследствие изменений на Солнце и взрывных извержений вулканов. Поток энергии Солнца в индустриальную эпоху постепенно возрастал, создавая небольшое положительное радиационное воздействие (см. рис. 2). Это воздействие дополняет циклические изменения в солнечной радиации, которые идут по 11-летнему циклу. Солнечная энергия непосредственно нагревает климатическую систему и может также воздействовать на избыток в атмосфере некоторых парниковых газов, таких как стратосферный озон. Взрывные извержения вулканов могут создавать краткосрочное (2-3 года) отрицательное воздействие посредством повышения температуры, имеющего место в сульфатном аэрозоле в стратосфере. Сейчас в стратосфере нет вулканического аэрозоля, поскольку последнее крупное извержение произошло в 1991 году (гора Пинатубо).

Различия в оценках радиационного воздействия, создаваемого изменениями в солнечном излучении и вулканами, между нынешним днем и началом индустриальной эпохи очень малы по сравнению с различиями в радиационном воздействии, которое стало результатом деятельности человека. Как следствие, в современной атмосфере радиационное воздействие деятельности человека гораздо более важно для текущих и будущих изменений климата, нежели радиационное воздействие изменений в естественных процессах.

Часто задаваемый вопрос 3.1

Как изменяется температура на Земле?

Инструментальные наблюдения за последние 157 лет показывают, что температура земной поверхности повысилась на всей планете, причем имеют место значительные региональные вариации. В среднем за последнее столетие потепление происходило в два этапа, с 1910-х по 1940-е годы (на $0,35^{\circ}\text{C}$) и, более существенно, с 1970-х годов до нынешнего времени (на $0,55^{\circ}\text{C}$). Скорость потепления за последние 25 лет также выросла; в частности, 11 из зарегистрированных самых теплых 12 лет приходятся на последние 12 лет. Что касается воздуха, то глобальные наблюдения с 1950-х годов показывают, что тропосфера (приблизительно до 10 км) нагревается с несколько более высокой скоростью, чем земная поверхность, тогда как стратосфера (около 10-30 км) с 1979 года существенно остыла. Это совпадает с прогнозами физиков и результатами большинства моделей. Подтверждением глобального потепления служит потепление океанов, повышение уровня моря, таяние ледников, отступление морских льдов в Арктике, уменьшение снежного покрова в северном полушарии.

Единого термометра для измерения глобальной температуры нет. Результаты отдельных измерений, которые ежедневно проводятся на нескольких тысячах станций, расположенных на суше по всему миру, объединяются с результатами тысяч других измерений температуры поверхности моря, которые проводятся с кораблей, плавающих по океанам, в результате чего ежемесячно выводится оценка глобальной средней температуры. Чтобы получить согласованные данные об изменениях во времени, главное – провести анализ аномалий (отклонений от климатологического среднего в каждом пункте), так как они более устойчивы к изменениям в доступности данных. Сейчас можно использовать такие измерения с 1850 года до нынешнего времени, хотя во второй половине XIX века охват был гораздо меньше глобального; после 1957 года, когда начались измерения в Антарктиде, он улучшился, а самым полным стал где-то после 1980 года, когда начались спутниковые измерения.

Если говорить о глобальном среднем, то приземная температура за последние сто лет (с 1906 по 2005 год; см. рис. 1) выросла приблизительно на $0,74^{\circ}\text{C}$. При этом, однако, потепление не было ни стабильным, ни одинаковым в разные времена года и в разных точках. Значительного изменения с 1850 года приблизительно до 1915 года не наблюдалось, не считая повышений и понижений, которые были связаны с естественной изменчивостью, но которые, возможно, были частично вызваны и плохим выборочным контролем. Повышение ($0,35^{\circ}\text{C}$) было отмечено в глобальной средней температуре за период с 1910 по 1940 год, после чего последовало незначительное охлаждение ($0,1^{\circ}\text{C}$), а потом быстрое потепление ($0,55^{\circ}\text{C}$) вплоть до конца 2006 года (рис. 1). Самыми теплыми годами из этого ряда были 1998 и 2005 годы (которые статистически неотличимы), а 11 из 12 самых теплых лет пришлось на последние 12 лет (1995-2006 годы).

Потепление, особенно с 1970-х годов, как правило, было более значительным на суше, нежели над океанами. В сезонном разрезе потепление слегка интенсивнее в зимнем полушарии. Дополнительное потепление имеет место в городах и городских районах (что часто называют эффектом городского острова тепла), однако оно ограничено в пространственном измерении, и его эффекты учитываются путем исключения максимально возможного количества таких пунктов из данных о глобальной температуре, а также путем увеличения интервала погрешности (на рисунке – светло-серая полоса).

Несколько областей с 1901 года охладилась; заметнее всего – северная часть Северной Атлантики вблизи южной Гренландии. Наиболее сильным потепление в этот период было над континентальными внутренними районами Азии и северной частью Северной Америки. Однако, поскольку это области со значительной годовой изменчивостью, наиболее очевидный сигнал о потеплении наблюдался в районах средних и низких широт, особенно над тропическими океанами. В нижней левой части рис. 1, где показана динамика температуры с 1979 года, в температурном профиле Тихого океана заметны регионы потепления и охлаждения, связанные с Эль-Ниньо.

Недавно стал возможным анализ долговременных изменений дневных экстремальных температур во многих регионах мира (в ряде частей Северной Америки, на юге Южной Америки, в Европе, северной и восточной Азии, южной Африке и Австралии). Особенно с 1950 годов эти данные показывают уменьшение числа очень холодных дней и ночей и увеличение количества крайне жарких дней и теплых ночей (см. ЧЗВ 3.3). Продолжительность периода без морозов увеличилась в большинстве средне- и высокоширотных регионов обоих полушарий. В северном полушарии это проявляется очевиднее всего в более раннем приходе весны.

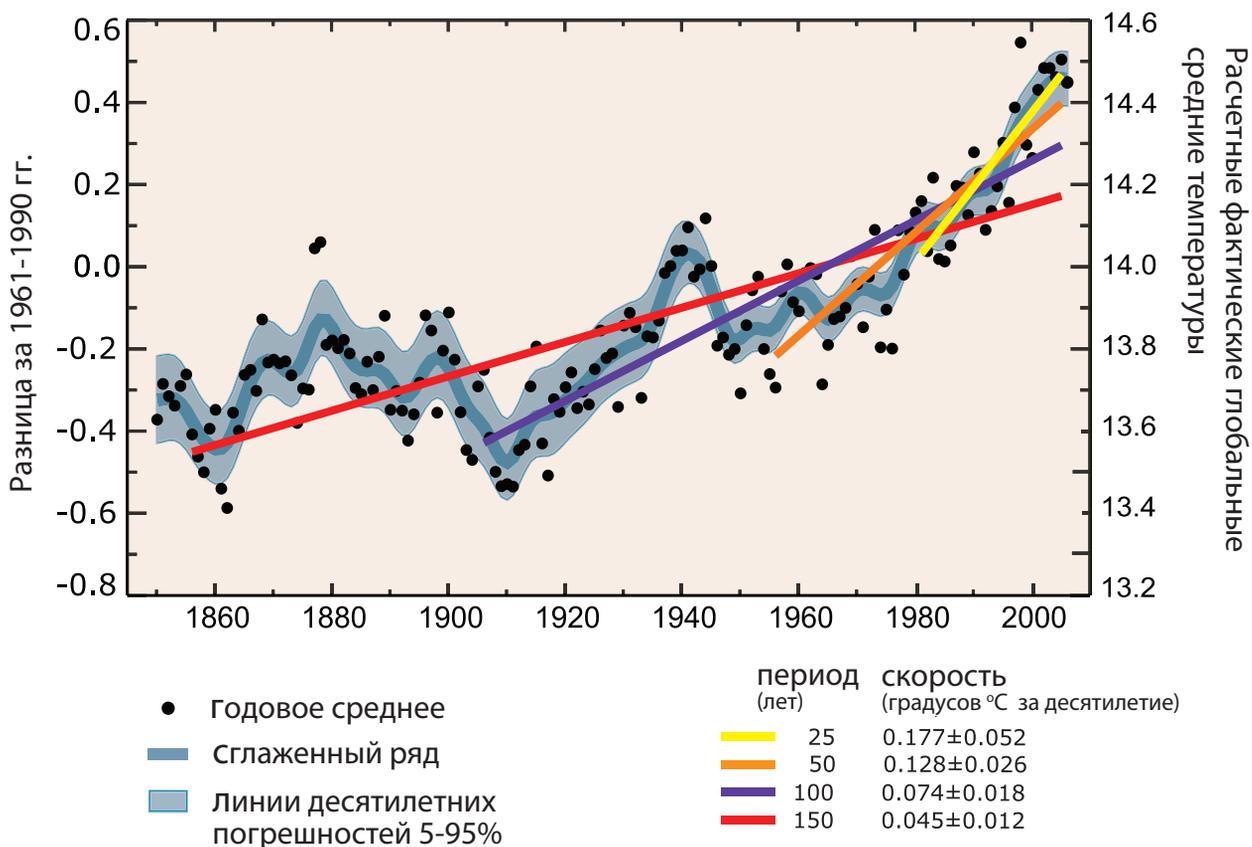
Помимо описанных выше данных о приземной температуре, проводились – с помощью метеозондов – измерения над поверхностью, причем с 1958 года был обеспечен достаточный охват над сушей, а с 1979 года используются спутниковые данные. Все данные скорректированы на изменения в контрольно-измерительных приборах и методиках наблюдения, где это необходимо. Данные микроволновых спутниковых приборов использовались для создания «спутниковых температурных протоколов» для толстых слоев атмосферы, включая тропосферу (от поверхности Земли приблизительно до 10 км) и нижнюю стратосферу (10-30 км). Несмотря на ряд новых аналитических исследований с улучшенной с перекрестной калибровкой 13 приборов на разных спутниках, проведенных с 1979 года, и компенсацию изменений во времени наблюдения и высоте спутников, некоторые неопределенности в трендах остаются.

Что касается глобальных наблюдений с конца 1950-х годов, то самые последние версии всех доступных комплектов данных показывают, что тропосфера теплеет с несколько большей

скоростью, чем поверхность, тогда как стратосфера с 1979 года заметно остыла. Это совпадает с прогнозами физиков и результатами большинства моделей, что демонстрирует роль повышения содержания парниковых газов в потеплении тропосферы и охлаждении стратосферы, причем истощение озонового слоя значительно способствует охлаждению стратосферы.

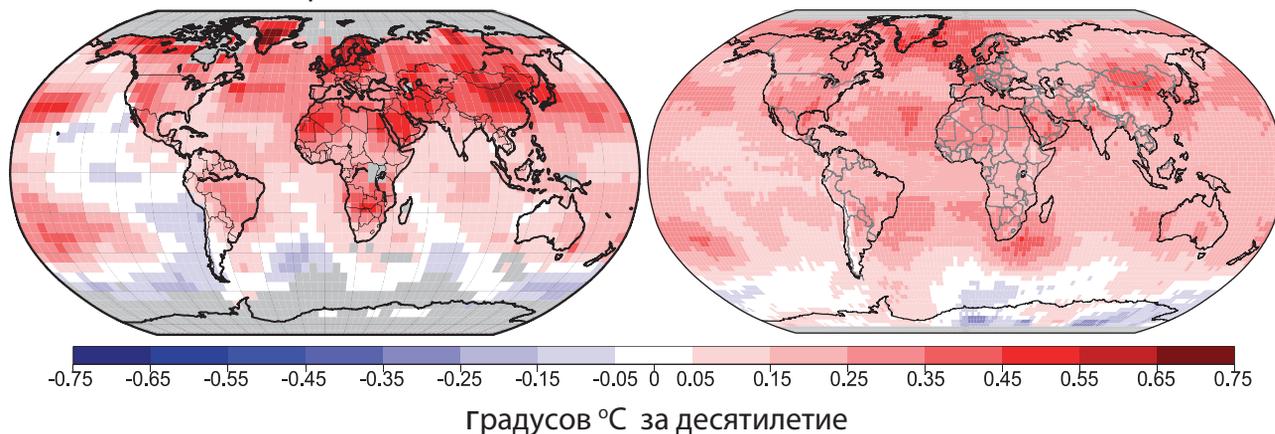
Наблюдалось уменьшение длительности периода ледостава на реках и озерах. Кроме того, в XX веке имеет место практически всемирное сокращение ледовой массы и протяженности ледников; недавно стало очевидным таяние Гренландского ледового щита; во многих регионах северного полушария уменьшился снежный покров; толщина и площадь морского льда в Арктике во все времена года уменьшается, причем наиболее значительно весной и летом; теплеют океаны; из-за теплового расширения океанов и таяния материкового льда повышается уровень моря.

Глобальная средняя температура



Поверхность

Тропосфера



ЧЗВ 3.1, рис. 1. (Вверху) Годовая глобальная средняя наблюдаемая температура¹ (черные точки) с простой подгонкой к данным. На левой оси показаны аномалии относительно среднего за 1961-1990 гг., а на правой – расчетная фактическая температура (°C). Показаны линейные тренды за последние 25 (желтый), 50 (оранжевый), 100 (лиловый) и 150 (красный) лет, которые соответствуют периодам 1981-2005 гг., 1956-2005 гг., 1906-2005 гг., 1856-2005 гг. Отметим, что для более коротких последних периодов крутизна выше, что означает ускоренное потепление. Синяя кривая – сглаженное изображение для демонстрации десятилетних изменений. Чтобы дать представление о том, имеют ли значение эти колебания, над этой линией даны десятилетние диапазоны погрешности 5-95% (светло-серый) (соответственно, годовые значения превышают эти пределы). Результаты моделей климата, на которые влияют расчетные радиационные воздействия в 20 веке (глава 9), показывают, что до 1915 года были незначительные изменения и что значительная доля изменения в начале 20 века была обусловлена естественными явлениями, в том числе изменениями солнечного излучения, вулканической деятельностью и естественной изменчивостью. Где-то с 1940 до 1970 года растущая индустриализация после Второй Мировой войны привела к увеличению загрязнения в северном полушарии, что способствовало охлаждению, а с середины 1970-х годов в наблюдаемом потеплении доминирует увеличение выбросов углекислого газа и других парниковых газов. (Внизу) Профили линейных трендов глобальной температуры за период 1979-2005 гг., полученные для земной поверхности (слева) и тропосферы (справа) в отрезке от поверхности до высоты около 10 км; данные взяты из спутниковых измерений. Серые области означают неполные данные. Отметим более пространственно однородное потепление в спутниковых данных для тропосферы, тогда как изменения температуры на поверхности более явно связаны с сушей и океаном.

Часто задаваемый вопрос 3.2

Как изменяются осадки?

Наблюдения показывают, что изменения происходят в количестве, интенсивности, частоте и виде осадков. Эти характеристики осадков в общем характеризуются большой естественной изменчивостью, и значительное влияние оказывают Эль-Ниньо и изменения в профилях атмосферной циркуляции, такие как Североатлантическое колебание. Выраженные долговременные тренды в период 1900-2005 годов наблюдались в количестве осадков в некоторых местах: значительно влажнее в восточной части Северной и Южной Америки, на севере Европы, на севере и в центральной части Азии, а суше – в Сахеле, южной Африке, Средиземноморье и на юге Азии. В северных регионах сейчас больше осадков выпадает в виде дождя, а не снега. Наблюдается повсеместный рост числа значительных случаев выпадений осадков, даже в местах, где общее количество осадков уменьшилось. Эти изменения связаны с увеличением выбросов водяного пара в атмосферу вследствие потепления океанов, особенно в нижних широтах. В некоторых регионах также наблюдается увеличение числа случаев как засухи, так и наводнений.

Осадки – это общий термин для дождя, снега и других форм замерзшей или жидкой воды, выпадающей из облаков. Осадки – прерывистое явление, и характер осадков, когда они выпадают, сильно зависит от температуры и синоптической обстановки. Последняя определяет поступление влаги с ветром и через поверхностное испарение, а также то, как она собирается в бурю в виде облаков. Осадки образуются по мере конденсации водяного пара, обычно в восходящем воздухе, который расширяется и поэтому остывает. Восходящее движение обусловлено подъемом воздуха через горы, движением теплого воздуха над более холодным (теплым фронтом), вталкиванием более холодного воздуха под более теплый (холодным фронтом), конвекцией от местного нагрева поверхности, другими погодными и облачными системами. Таким образом, изменения в любой из этих характеристики изменяют осадки. Поскольку карты осадков, как правило, неполные, то общие тенденции касательно осадков демонстрирует индекс интенсивности засухи Палмера (см. рис. 1), представляющий собой меру влажности почвы с учетом осадков и приблизительных оценок изменений в испарении.

Следствием повышенного нагрева вследствие антропогенного расширенного парникового эффекта является повышенное испарение, при условии наличия достаточной поверхностной влаги (как это всегда имеет место над океанами и другими влажными поверхностями). Следовательно, поверхностная влага по сути дела действует как «кондиционер воздуха», так как используемое для испарения тепло служит для увлажнения воздуха, а не для его нагрева. Наблюдаемое последствие этого – то, что лето часто бывает теплым и сухим либо холодным и влажным. В восточных районах Северной и Южной Америки, где стало влажнее (рис. 1), температура

поэтому повысилась меньше, чем где-либо (изменение числа теплых дней см. в ЧЗВ 3.3, рис. 1). Зимой над северными континентами, однако, большее количество осадков связано с повышением температуры, так как водоудерживающая способность атмосферы в более теплых условиях повышается. В тех регионах, однако, где осадки обычно несколько больше, повышение температуры (ЧЗВ 3.1) ускорило высыхание, из-за чего это изменение осадков на рис. 1 менее очевидно.

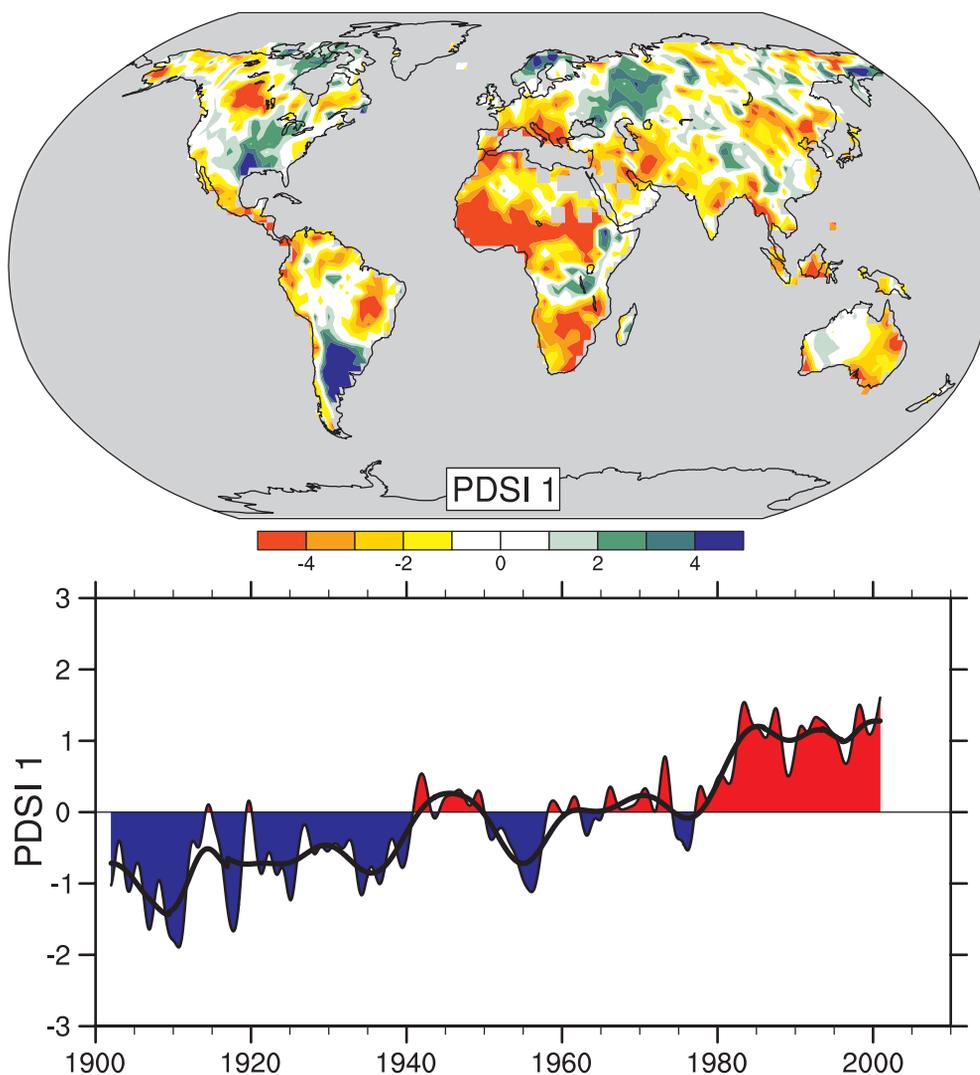
По мере изменения климата количество, интенсивность, частота и тип осадков изменяются и под прямым влиянием некоторых других факторов. Потепление ускоряет высыхание земной поверхности и повышает потенциальную вероятность и интенсивность засухи, что наблюдается во многих местах земного шара (рис. 1). Однако, хорошо обоснованный физический закон (уравнение Клапейрона-Клаузиуса) определяет, что водоудерживающая способность атмосферы возрастает приблизительно на 7% при каждом повышении температуры на 1°C. Наблюдения тенденций относительной влажности неопределенные, но показывают, что в целом она оставалась приблизительно той же самой, от поверхности и до тропосферы включительно; следовательно, повышение температуры приведет к увеличению количества водяного пара. На основании изменений температуры на поверхности моря в XX веке сделано предположение о том, что содержание водяного пара в атмосфере над океанами возросло приблизительно на 5%. Поскольку осадки являются следствием в основном погодных систем, которые питаются водяным паром, находящимся в атмосфере, это в общем повысило интенсивность осадков и риск сильных дождей и снегопадов. Фундаментальная теория, климатические модели, эмпирические доказательства – все это подтверждает, что потепление климата вследствие повышения содержания водяного пара приводит к более интенсивным осадкам, даже в том случае, если годовое количество осадков слегка уменьшается, с перспективой еще более сильных осадков, когда общее количество осадков увеличивается. Поэтому более теплый климат повышает риск как засухи – когда нет дождя – так и наводнения – когда дождь идет – но в разное время и (или) разных местах. Например, лето 2002 года в Европе принесло повсеместные наводнения, однако спустя год, в 2003 году, последовала рекордная жара и засуха. На распределение и сроки наводнений и засухи наиболее сильно влияет цикл Эль-Ниньо, особенно в тропиках и на большей части средних широт стран западного побережья Тихого океана.

В районах, где аэрозольное загрязнение маскирует землю от прямого солнечного света, уменьшение испарения сокращает общее поступление влаги в атмосферу. Следовательно, даже при том, что возможность более сильных осадков вытекает из увеличения количества водяного пара, продолжительность и частота осадков могут уменьшиться, потому что для

перезарядки атмосферы водяным паром требуется больше времени.

Местные и региональные изменения в характере осадков также сильно зависят от профилей атмосферной циркуляции, определяемых Эль-Ниньо, Североатлантическим колебанием (САК; это мера силы западного ветра над Северной Атлантикой зимой) и другими режимами изменчивости. Некоторые из этих наблюдаемых изменений циркуляции связаны с изменением климата. Связанный с ними сдвиг в траекториях циклонов

делает некоторые регионы более влажными, а некоторые – часто близлежащие – более сухими, способствуя усложнению характера изменений. Например, в европейском секторе более положительное САК в 1990-е годы привело к более влажным условиям в северной части Европы и более сухим – в Средиземноморье и северных регионах Африки. Затяжная засуха в Сахеле (см. рис. 1), резко выраженная в период с конца 1960-х до конца 1980-х годов, продолжается, хотя она и не настолько сильная, как раньше; через изменения в



ЧЗВ 3.2, рис. 1. Самый важный пространственный профиль (вверху) ежемесячного индекса интенсивности засухи Палмера (ИИЗП) за 1900-2002 гг. ИИЗП – известный показатель засухи, который измеряет совокупный дефицит (относительно местных средних условий) поверхностной влаги путем включения данных о предыдущих осадках и оценок количества влаги, выброшенной в атмосферу (на основании температуры воздуха) в систему гидрологического учета. На нижней панели показано, как знак и интенсивность этого профиля изменялись с 1900 года. Красные и оранжевые участки суше (влажнее), чем средний уровень, а синие и зеленые участки влажнее (суше) среднего, когда значения, показанные на нижнем графике, положительны (отрицательны). Плавная черная кривая показывает десятилетние вариации. Этот временной ряд приблизительно соответствует тренду, а на данный профиль и его вариации приходится 67% линейного тренда ПИЗП за 1900-2002 гг. по всей поверхности суши. Следовательно, здесь отражена распространенная усиливающаяся засуха в Африке, особенно в Сахеле, например. Отметим также более влажные районы, особенно на востоке Северной и Южной Америки и на севере Евразии. Адаптировано из Dai et al. (2004b).

атмосферной циркуляции она была связана с изменениями в режимах температур поверхности тропических морей в бассейнах Тихого, Индийского и Атлантического океанов. Засуха распространилась по большей части Африки и стала более привычной в тропиках и субтропиках.

По мере роста температуры вероятность выпадения осадков в виде дождя, а не снега, повышается, особенно осенью и весной в начале и конце снежного сезона, а также в областях, где температуры близки к точке замерзания.

Такие изменения наблюдаются во многих местах, особенно над сушей в средних и высоких широтах северного полушария,

что приводит к усилению дождей и уменьшению снегопадов, следовательно, к сокращению водных ресурсов летом, когда они более всего нужны. Тем не менее, часто неоднородная и нерегулярная природа осадков означает, что наблюдаемый характер изменений – сложный. Долгосрочные наблюдения подчеркивают, что характер осадков из года в год несколько меняется, и даже затяжная многолетняя засуха обычно прерывается годом сильных ливней; например, когда чувствуется влияние Эль-Ниньо. В качестве примера можно привести влажную зиму 2004-2005 гг. на юго-западе США после шестилетней засухи и отсутствия обычных снегопадов.

Часто задаваемый вопрос 3.3

Изменились ли экстремальные явления, такие как волны тепла, засуха, наводнения, ураганы?

С 1950 года количество волн тепла увеличилось, и произошли повсеместные изменения в сторону увеличения числа теплых ночей. Число регионов, охваченных засухой, также возросло, поскольку количество осадков над сушей уменьшилось незначительно, тогда как испарение вследствие более теплых условий увеличилось. В целом количество сильных ежедневных случаев выпадения осадков, которые привели к наводнениям, увеличилось, но не везде. Частота тропических бурь и ураганов из года в года существенно изменяется, однако свидетельства дают основание предположить существенное увеличение их силы и продолжительности по сравнению с 1970-ми годами. Во внетропических районах изменения траекторий и силы циклонов отражают изменения основных характеристик атмосферной циркуляции, таких как Североатлантическое колебание.

В ряде регионов мира обнаружены признаки изменений различных типов экстремальных климатических явлений. Экстремальными обычно считаются величины, которые превышают 1, 5 и 10% раза (с одной стороны экстремума) или 90, 95 и 99% раза (с другой стороны экстремума). Теплые ночи или жаркие дни (см. ниже) – это ночи и дни, температура в которые превышает 90-й процентиль, а холодные ночи или дни – это те, температура в которые падает ниже 10-го процентиля. Сильные осадки определяются как осадки, дневное количество которых превышает 95-й (или, если осадки «очень сильные», 99-й) процентиль.

В последние 50 лет для отобранных для исследования областей суши наблюдается значительное снижение годового количества холодных ночей и значительное увеличение годового количества теплых ночей (рис. 1). Уменьшение числа холодных дней и увеличение числа жарких дней обычно менее заметно, хотя и наблюдается повсеместно. Распределения минимальных и максимальных температур не только сдвинулись в сторону более высоких значений, что соответствует общему потеплению; холодные экстремумы потептели за последние 50 лет больше, чем теплые (рис. 1). Увеличение числа теплых экстремумов подразумевает повышение частоты волн тепла. Среди других подтверждающих признаков – наблюдаемая тенденция в сторону уменьшения числа морозных дней, связанная со средним потеплением в большинстве среднеширотных регионов.

Яркий признак изменения экстремальных значений – наблюдаемое свидетельство роста числа случаев сильных осадков в средних широтах за последние 50 лет, причем даже в местах, где среднее количество осадков не растет (см. также ЧЗВ 3.2). Для случаев очень сильных осадков также сообщается о растущих тенденциях, однако результаты есть лишь по нескольким районам.

Засуху легче измерить благодаря ее продолжительности.

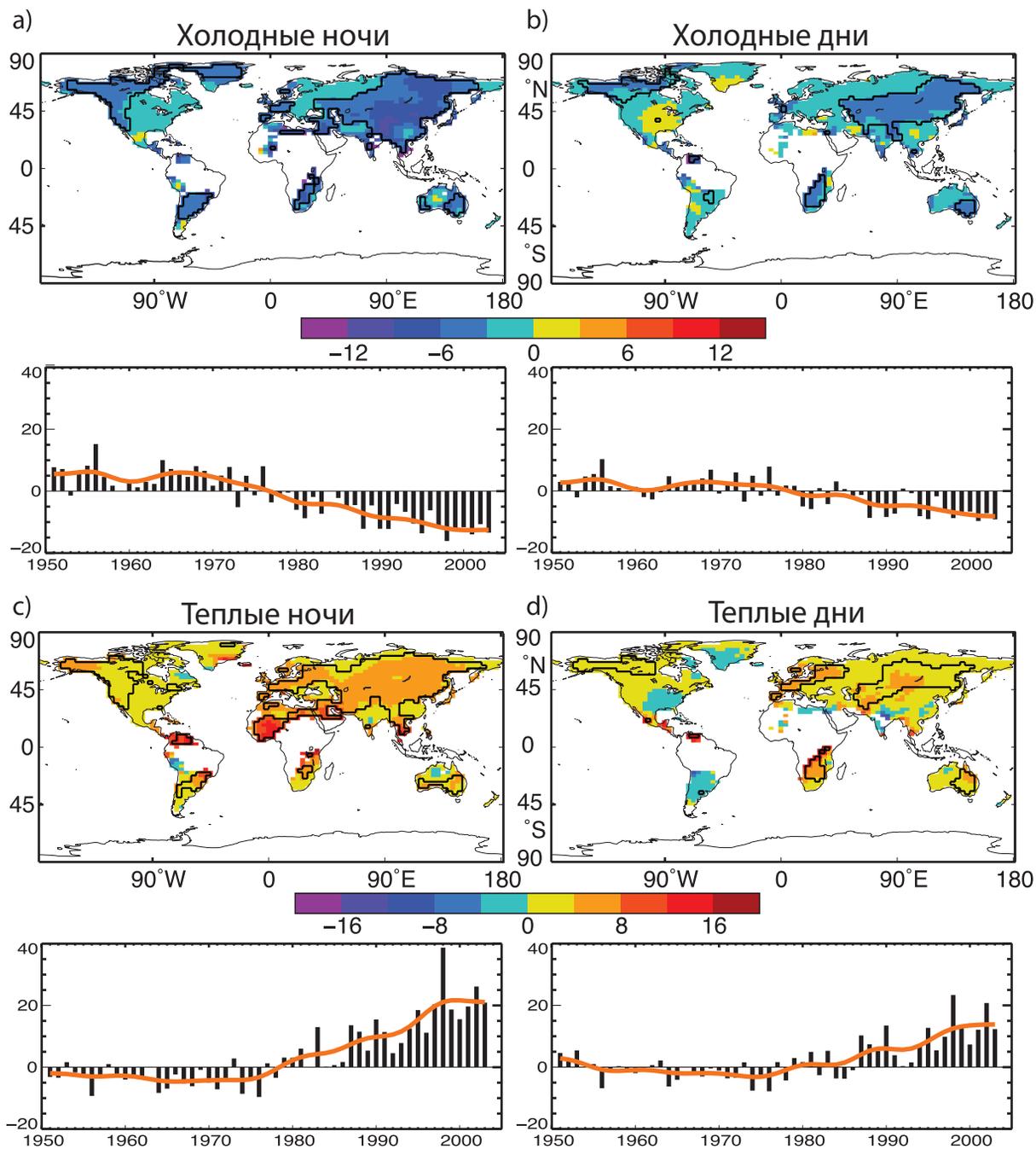
Хотя есть многочисленные показатели и измерители засухи, во многих исследованиях используются месячные количества осадков и средние температуры, объединенные в измеритель, называемый «индексом интенсивности засухи Палмера» (ИИЗП). ИИЗП, рассчитанный с середины XX века, показывает сильную засушливую тенденцию над многими районами суши северного полушария с середины 1950-х годов, причем засуха широко распространена в большей части южной Евразии, в северной Африке, Канаде и на Аляске (ЧЗВ 3.2, рис.1), а противоположная тенденция наблюдается на востоке Северной и Южной Америки. В южном полушарии земная поверхность в 1970-е годы была влажной, в 1960-е и 1990-е – относительно сухой, а с 1974 по 1998 гг. наблюдалась тенденция к высыханию. Данные по Европе за более длительные периоды XX столетия в целом демонстрируют ряд значительных тенденций. Уменьшение осадков над сушей с 1950-х годов – вероятно, главная причина тенденций к высыханию, но в этот процесс свой вклад, очевидно, внесло и значительное поверхностное нагревание, наблюдаемое в последние два-три десятилетия. Одно исследование показало, что общая площадь очень сухих участков суши по всей планете (определенных как участки с ИИЗП менее -3,0) с 1970-х годов более чем удвоилась, что связано с первоначальным уменьшением количества осадков над сушей, связанным с Эль-Ниньо и Южным колебанием, а также с последующим увеличением, обусловленным в основном поверхностным нагреванием.

Изменения частоты и интенсивности тропических бурь и ураганов маскируются значительной естественной изменчивостью. Эль-Ниньо - Южное колебание значительно воздействует на расположение и активность тропических бурь по всему миру. В глобальном разрезе оценки потенциального разрушающего действия ураганов демонстрируют существенную восходящую тенденцию с середины 1970-х годов, а также тенденцию в направлении увеличения продолжительности бурь и повышения их силы, причем эта активность сильно связана с температурой поверхности тропических морей. Эти зависимости подкрепляются фактами значительного роста количества и доли сильных ураганов с 1970 года в мировом масштабе, даже при том, что общее количество циклонов и циклонических дней в большинстве бассейнов слегка уменьшилось. Говоря конкретно, число ураганов 4 и 5 категорий с 1970 года возросло приблизительно на 75%. Наибольший рост отмечен в северной и юго-западной частях Тихого океана и в Индийском океане. При этом, однако, число ураганов в Северной Атлантике в 9 из 11 последних лет также превышало норму, а кульминацией стал рекордный сезон 2005 года.

Исходя из разнообразия мер на поверхности и в верхней тропосфере, можно сделать вывод о том, что во второй

половине XX века имеет место сдвиг в сторону полюсов, а также рост активности бурь в зимнее время в северном полушарии. Эти изменения – часть отклонений, возникших в связи с Североатлантическим колебанием. Наблюдения за период с 1979 года до середины 1990-х годов демонстрируют тенденцию к усилению околополюсной западной атмосферной циркуляции во всей тропосфере и нижней стратосфере, а также смещение струйных течений к полюсам и усиление активности

бурь. Данные наблюдений за изменениями в мелкомасштабных опасных метеорологических явлениях (таких как торнадо, град и грозы) в основном локальные и слишком разбросанные для того, чтобы сделать общие выводы; рост во многих районах обусловлен повышением уровня осведомленности общественности и активизацией усилий по сбору сведений о таких явлениях.



ЧЗВ 3.3, рис. 1. Наблюдаемые тенденции (дней за десятилетие) за 1951-2003 гг. в частоте экстремальных температур, определенные на основании значений за 1961-1990 годы, как карты для 10-го перцентиля: (а) холодные ночи и (б) холодные дни; и для 90-го перцентиля: (с) теплые ночи и (д) теплые дни. Тенденции были рассчитаны только для частей сетки, в которых за этот период были данные минимум за 40 лет и минимум до 1999 года. Черными линиями обведены регионы, где тенденции значительны на уровне 5%. Под каждой картой приведены глобальные годовые временные ряды аномалий (по отношению к 1961-1990 гг.). Красная линия показывает десятилетние изменения. Для всех приведенных глобальных показателей тенденции значительны на уровне 5%. Адаптировано из Alexander et al. (2006).

Часто задаваемый вопрос 4.1

Уменьшается ли количество снега и льда на Земле?

Да. Наблюдения показывают уменьшение количества снега и льда в глобальном масштабе в течение многих лет, особенно начиная с 1980 года, причем за последнее десятилетие этот процесс ускорился, несмотря на увеличение в одних местах и незначительное изменение в других (рис. 1). Большинство горных ледников уменьшается. Снежный покров весной тает раньше. Морской лед в Арктике уменьшается во все времена года, а сильнее всего – летом. Сообщается об уменьшениях в вечной мерзлоте, сезонномерзлых грунтах, речных и озерных льдах. Обширные прибрежные регионы ледовых щитов в Гренландии и Западной Антарктиде, как и ледники Антарктического полуострова, становятся тоньше, что способствует повышению уровня моря. Общий вклад таяния ледников, ледяных шапок и ледовых щитов за 1993–2003 годы оценивается величиной $1,2 \pm 0,4$ мм/год.

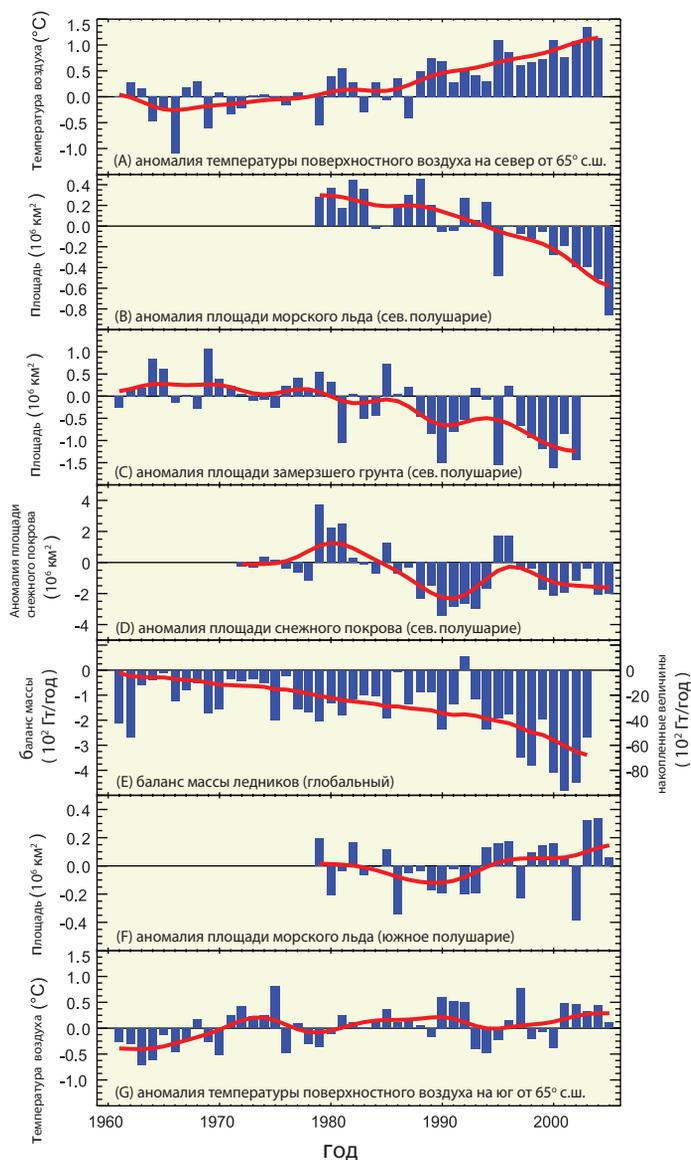
Непрерывные спутниковые измерения дают сведения о большей части сезонного снежного покрова на суше в Европе и показывают, что толщина весеннего снежного покрова в северном полушарии уменьшается приблизительно на 2% за десятилетие начиная с 1966 года, а осенью и ранней зимой изменения небольшие. Во многих местах весеннее уменьшение наблюдается, несмотря на рост количества осадков.

Данные спутниковых измерений еще не позволяют получить подобные достоверные сведения о состоянии льда на реках и озерах или на сезонно либо постоянно замерзшей почве, однако опубликованы многочисленные местные и региональные отчеты, которые, как представляется, указывают на нагревание вечной мерзлоты, увеличение толщины летнего растаявшего слоя над вечной мерзлотой, уменьшение глубины зимнего замерзания в сезонно замерзающих районах, уменьшение площади вечной мерзлоты, сокращение продолжительности сезонного обледенения рек и озер.

С 1978 года спутниковые данные обеспечивают постоянный охват площади распространения морского льда в обоих полярных регионах. В Арктике среднегодовое распространение морского льда уменьшается на $2,7 \pm 0,6\%$ за десятилетие, а летом – на $7,4 \pm 2,4\%$ за десятилетие. В площади распространения антарктического морского льда значительных тенденций не наблюдается. Данные о толщине, полученные, в частности, с подводных лодок, имеются, но ограничены центральной Арктикой, где они свидетельствуют об уменьшении толщины за 1958–1977 годы и в 1990-е годы приблизительно на 40%. Эта оценка, однако, вероятно, завышена по сравнению со всем арктическим регионом.

Большинство горных ледников и ледяных шапок уменьшаются, причем этот процесс начался, вероятно, где-то в 1850 году. Хотя в районе 1970 года имели место несколько лет практического равновесия на многих ледниках северного полушария, этот период сменился усиленным уменьшением. Таяние ледников и ледяных шапок за период 1991–2004 гг. привело к повышению уровня моря на $0,77 \pm 0,22$ мм/год.

В целом вполне вероятно, что ледовые щиты Гренландии и Антарктиды уменьшаются; при этом за период 1993–2003 гг. этот процесс в Гренландии привел к повышению уровня моря на $0,2 \pm 0,1$ мм/год, а в Антарктиде – на $0,2 \pm 0,35$ мм/год.



ЧЗВ 4.1, рис. 1. Временные ряды аномалий (отклонение от долгосрочного среднего) температуры воздуха на поверхности на полюсах (A, G), площади арктического и антарктического морского льда (B, F), площади замерзшей поверхности в северном полушарии (C), площади снежного покрова в северном полушарии (D), глобального баланса массы ледников (E). Сплошная красная линия в E обозначает совокупный глобальный баланс массы ледников; в других частях она показывает десятилетние изменения (см. Приложение 3.A).

Есть доказательства ускоренной потери вплоть до 2005 года включительно.

Уменьшение снежного покрова и горных ледников во многих случаях происходит несмотря на увеличение снегопадов, что предполагает повышение температуры воздуха. Аналогичным образом, хотя изменения снежного покрова влияют на замерзшую почву, озерный и речной лед, это не представляется достаточным для объяснения наблюдаемых изменений, предполагая, что важное значение имеет повышение локальной температуры воздуха. Наблюдаемое уменьшение арктического

морского льда можно достаточно качественно смоделировать в моделях, построенных на изменениях циркуляции и температуры за прошлые периоды. Наблюдаемые изменения в снегопадах на ледовых щитах в некоторых холодных центральных регионах, поверхностное таяние в прибрежных регионах и таяние под шельфовыми ледниками вдоль многих берегов – все это соответствует потеплению. Географический распространенный характер этих изменений снега и льда предполагает, что причиной общей потери льдов на Земле является широко распространенное потепление.

Часто задаваемый вопрос 5.1

Повышается ли уровень моря?

Да, есть убедительные доказательства того, что глобальный уровень моря в XX веке постепенно повышался, а сейчас повышается ускоренными темпами после периода незначительного изменения, который продолжался с начала нашей эры до 1900 года. По прогнозам, уровень моря в текущем столетии будет повышаться еще более высокими темпами. Две главные причины глобального повышения уровня моря – тепловое расширение океанов (вода при нагревании расширяется) и потеря льда на суше вследствие более активного таяния.

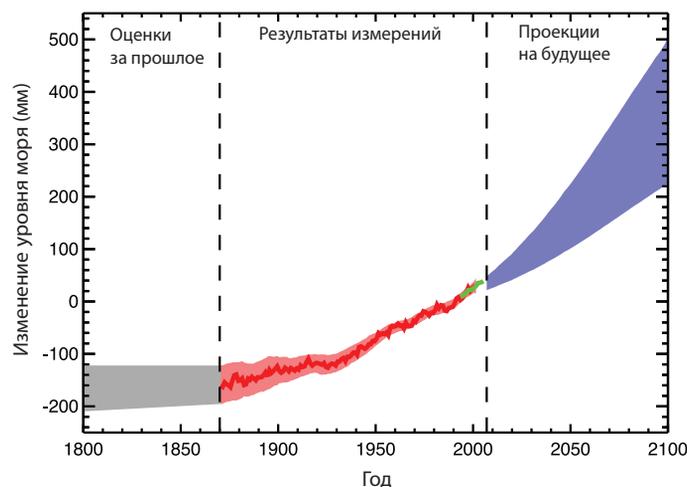
Глобальный уровень моря за несколько тысячелетий после последнего ледникового периода (около 21000 лет назад) повысился приблизительно на 120 м и где-то 2-3 тыс. лет назад стабилизировался. Показатели уровня моря показывают, что с тех пор и до конца XIX столетия глобальный уровень моря значительно не повысился. Результаты измерений изменений уровня моря в наше время подтверждают, что в XIX веке началось повышение уровня моря. Оценки за XX век показывают, что глобальный средний уровень моря повышался со скоростью около 1,7 мм/год.

Спутниковые наблюдения, которые проводятся с начала 1990-х годов, дают более точные данные об уровне моря почти с глобальным охватом. Эти спутниковые данные альтиметрии, собранные за десятилетие, показывают, что с 1993 года уровень моря повышается со скоростью около 3 мм/год, что значительно больше, чем средние темпы за предыдущие полстолетия. Измерения, проведенные с помощью мареографов в прибрежных водах, подтверждают это наблюдение и показывают, что аналогичные темпы наблюдались в ряде предыдущих десятилетий.

В соответствии с климатическими моделями спутниковые данные и гидрографические наблюдения показывают, что уровень моря не повышается одинаково во всем мире. В некоторых регионах темпы роста в несколько раз превышают среднее глобальное значение, а в некоторых уровень моря снижается. Из гидрографических наблюдений видны также значительные пространственные колебания скорости изменения уровня моря. Пространственная изменчивость темпов повышения уровня моря обусловлена в основном неоднородными изменениями температуры и солености и связана с изменениями океанической циркуляции.

Почти глобальные комплекты данных о температуре океанов, полученные в последние годы, позволяют прямо вычислить тепловое расширение. Считается, что в среднем за период с 1961 по 2003 год тепловое расширение стало причиной приблизительно четверти наблюдаемого повышения уровня моря, тогда как на таяние материкового льда пришлось меньше половины. Таким образом, эти комплекты данных недостаточно удовлетворительно объясняют весь размах наблюдаемого повышения уровня моря, как отмечалось в Третьем докладе МГЭИК об оценках.

В последние годы (1993–2003 гг.), в которые система наблюдений была гораздо лучшей, на долю теплового расширения и таяния материкового льда приходится почти по половине наблюдаемого повышения уровня моря, хотя в этих оценках есть некоторая неопределенность. Обоснованная согласованность, отмеченная в последние годы между наблюдаемыми темпами повышения уровня моря и суммой теплового расширения и потери материкового льда, предполагает наличие верхнего предела амплитуды изменений материковых водных ресурсов, который относительно плохо известен. Результаты моделирования показывают отсутствие чистого тренда в содержании водных ресурсов на суше вследствие вызванных климатом изменений, однако есть существенные межгодовые и десятилетние колебания. При этом, однако, в период с 1993 по 2003 год незначительная разница между наблюдаемым повышением уровня моря и суммой действий известных факторов, возможно, была обусловлена неизмеренными количественно антропогенными процессами (это, например, извлечение подземных вод, наполнение водоемов, осушение водно-болотных угодий, обезлесение).



ЧЗВ 5.1, рис.1. Временной ряд глобального среднего уровня моря (отклонение от среднего за 1980-1999 годы) в прошлом и по прогнозам на будущее. Глобальных измерений уровня моря за период до 1870 года нет. Серые участки означают неопределенность расчетных долгосрочных темпов изменения уровня моря (раздел 6.4.3). Красная линия – реконструкция глобального среднего уровня моря по мареографам (раздел 5.5.2.1), а красные участки означают интервал отклонений от гладкой кривой. Зеленая линия – глобальный средний уровень моря, наблюдаемый по спутниковым альтиметрам. Синий участок – диапазон модельных проекций по сценарию СДСВ А1В на 21 век относительно среднего за 1980-1999 годы, вычисленный независимо от наблюдений. Проекция на период после 2100 года еще больше зависит от сценариев выбросов (см. в главе 10 обсуждение проекций повышения уровня моря по другим сценариям, рассмотренных в данном докладе). За многие столетия или тысячелетия уровень моря мог бы повыситься на несколько метров (раздел 10.7.4).

Глобальный уровень моря, по проекциям, в XXI веке будет повышаться с большей скоростью, чем в 1961-2003 годах. По сценарию А1В Специального доклада МГЭИК о сценариях выбросов (СДСВ), к середине 2090-х годов глобальный уровень моря повысится на 0,22-0,44 м по сравнению с 1990 годом, возрастая на 4 мм в год. Как и в прошлом, изменение уровня моря в будущем не будет географически однородным: согласно проекции по типовой модели региональные изменения уровня моря будут колебаться в пределах $\pm 0,15$ от среднего значения. На тепловое расширение, по проекциям, придется больше половины среднего повышения, а масса материкового

льда будет по ходу столетия все быстрее уменьшаться. Важная неопределенность связана с тем, будет ли сток льда с ледовых щитов продолжать расти вследствие ускоренного потока льда, как это было в последние годы. Это увеличило бы степень повышения уровня моря, однако достоверные качественные проекции этой возможной степени дать нельзя, так как нет достаточного понимания соответствующих процессов.

На рис. 1 показано изменение глобального среднего уровня моря в прошлом и по проекциям на 21 век по сценарию СДСВ А1В.

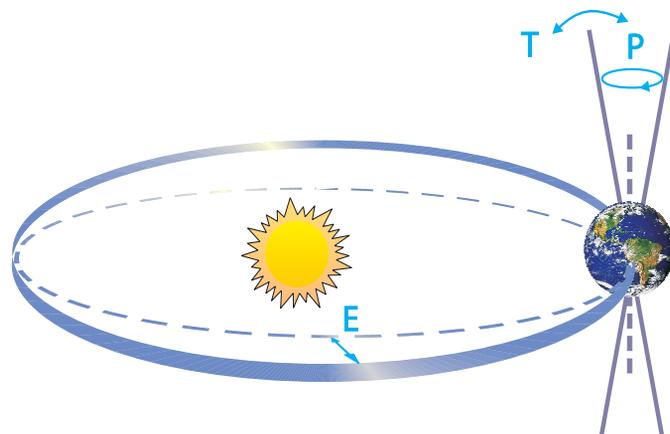
Часто задаваемый вопрос 6.1

Что вызывало ледниковые периоды и другие важные изменения климата до индустриальной эпохи?

Климат на Земле изменялся во все времена, в том числе задолго до того, как свою роль в этом начал играть деятельность человека. Достигнут большой прогресс в понимании причин и механизмов этих изменений. Изменения в радиационном балансе Земли были основным фактором изменений климата в прошлом, но причины таких изменений разные. Для каждого случая – будь то ледниковые периоды, потепление во времена динозавров, колебания в прошлом тысячелетии – конкретные причины необходимо устанавливать отдельно. Во многих случаях это сейчас можно сделать с большой долей уверенности, а многие прошлые изменения климата можно воспроизвести с помощью количественных моделей.

Глобальный климат определяется радиационным балансом планеты (см. ЧЗВ 1.1). Есть три основных способа возможного изменения радиационного баланса Земли с последующим изменением климата: 1) путем изменения поступающего солнечного излучения (например, изменением в орбите Земли или самого Солнца), 2) путем изменения доли солнечного излучения, которое отражается (эта доля называется альбедо – ее можно изменить, например, путем изменения облачного покрова, мелких частиц (аэрозолей) или земной поверхности), 3) путем изменения длинноволновой энергии, излучаемой обратно в космос (например, за счет изменения концентраций парниковых газов). Кроме того, местный климат зависит и от того, как тепло распределяется ветрами и океанскими течениями. Все эти факторы играли роль в изменениях климата в прошлом.

Начиная с ледниковых периодов, которые приходили и уходили регулярными циклами в последние почти три миллиона лет, имеется убедительное доказательство того, что они связаны с регулярными изменениями в орбите вращения Земли вокруг Солнца, так называемыми циклами Миланковича (рис. 1). Эти циклы изменяют количество солнечной радиации, получаемой на каждой широте в каждое время года (но вряд ли влияют на глобальное среднегодовое значение), и их можно рассчитать с астрономической точностью. Все еще ведутся дискуссии о том, насколько точно это соответствует началу и окончанию ледниковых периодов, однако во многих исследованиях говорится, что количество солнечного света летом на северных континентах играет решающую роль: если оно падает ниже критического уровня, то снег с прошедшей зимы летом не тает, и ледовый щит начинает расти по мере накопления все новых и новых снежных масс. Моделирование климата подтверждает, что ледниковый период действительно может начаться таким образом, а с помощью простых концептуальных моделей сделаны, на основании орбитальных изменений, успешные «ретроспективные прогнозы» начала прошлых оледенений. Следующее большое снижение летней инсоляции на севере, аналогичное тому, что началось после ледниковых периодов,



ЧЗВ 6.1, рис. 1. Схема изменений орбиты Земли (циклы Миланковича), которые определяют циклы ледниковых периодов. 'Т' обозначает изменения наклона (наклонения) оси Земли, 'E' – изменения в эксцентриситете орбиты (вследствие изменений малой оси эллипса) 'P' – прецессию, т.е. изменения направления наклона оси в данной точке орбиты. Источник: Rahmstorf and Schellnhuber (2006).

Атмосферный углекислый газ (CO_2) тоже играет важную роль в ледниковых периодах, хоть и не является их главной причиной. Данные кернов антарктического льда показывают, что концентрация CO_2 в холодные ледниковые времена низкая (~190 ppm), а в теплое межледниковье – высокая (~280 ppm); содержание CO_2 в атмосфере следует за температурными изменениями в Антарктиде с запаздыванием на несколько столетий. Поскольку изменения климата в начале и конце ледниковых периодов занимают несколько тысяч лет, то на большинство этих изменений влияет положительная связь по CO_2 ; т.е. небольшое начальное охлаждение из-за циклов Миланковича затем усиливается по мере падения концентрации CO_2 . Моделирование климата ледникового периода (см. раздел 6.4.1) дает реалистичные результаты только при условии учета роли углекислого газа.

В последнем ледниковом периоде произошло более 20 резких и значительных климатических сдвигов, которые особенно заметны в данных по северной Атлантике (см. раздел 6.4). Они отличаются от ледниково-межледниковых циклов тем, что, вероятно, не предполагают значительных изменений в глобальной средней температуре: изменения в Гренландии и Антарктиде идут не синхронно, а в южной и северной частях Атлантики вообще идут в противоположном направлении. Это значит, что никакого существенного изменения в глобальном радиационном балансе для таких сдвигов не потребовалось бы; достаточно было бы перераспределения тепла внутри климатической системы. Есть действительно веское доказательство того, что изменения в океанической циркуляции и переносе тепла могут объяснить многие особенности этих

внезапных явлений; данные исследования осадочных пород и моделирования показывают, что некоторых из этих изменений могли быть инициированы нестабильностями в ледовых щитах, окружавших в то время Атлантику, и соответствующим выбросом пресной воды в океан.

В истории климата встречались и гораздо более теплые времена – на протяжении большинства из прошлых 500 млн. лет на Земле, вероятно, вообще не было ледовых щитов (геологи могут установить это по отметкам, которые лед оставляет на породе), в отличие от сегодняшнего дня, когда Гренландия и Антарктида покрыты льдами. Данные о содержании парниковых газов, которые больше миллиона лет, т.е. которые относятся к периоду вне пределов досягаемости антарктических ледовых кернов, все равно довольно неопределенные однако анализ геологических образцов показывает, что теплые безледные периоды совпадают с периодами высокого содержания CO_2 в атмосфере. Если смотреть по шкале с разрешением в миллионы лет, то уровни CO_2 меняются из-за тектонической активности, что влияет на скорость обмена углекислым газом между океаном и атмосферой, с одной стороны, и твердой землей, с другой стороны. Подробнее о климате в древние времена см. врезку 6.1.

Еще одна вероятная причина климатических изменений в прошлом – изменения количества энергии, выделяемой

Солнцем. Измерения за последние десятилетия показывают, что поток энергии Солнца в 11-летнем цикле слегка изменяется (приблизительно на 0,1%). Наблюдения за пятнами на Солнце (датируемые еще XVII столетием), а также данные об изотопах, генерируемых космическим излучением, дают доказательства более долговременных изменений солнечной активности. Сопоставление данных и моделирование показывают, что колебания солнечной и вулканической активности, вероятно, являлись главными причинами климатических колебаний в прошлом тысячелетии, до начала индустриальной эпохи.

Эти примеры служат иллюстрацией того, что разные изменения климата в прошлом были вызваны разными причинами. Тот факт, что естественные факторы вызывали изменения климата в прошлом, не означает, что нынешнее изменение климата является естественным. Аналогичным образом, то, что лесные пожары с давних пор вызываются естественными причинами, например, ударами молний, не означает, что пожары не могут быть вызваны беспечностью туристов. В ЧЗВ 2.1 рассматривается вопрос о том, насколько отличается вклад деятельности человека в последние изменения климата по сравнению с естественными воздействиями.

Часто задаваемый вопрос 6.2

Является ли нынешнее изменение климата необычным по сравнению с более ранними изменениями в истории Земли?

Климат на Земле изменялся на протяжении всей ее истории. Некоторые аспекты нынешнего изменения климата не являются чем-то необычным, а некоторые – являются. Концентрация CO₂ в атмосфере достигла рекордно высокого уровня за более чем полмиллиона лет, причем это произошло исключительно быстрыми темпами. Нынешние глобальные температуры выше, чем когда-либо за последние минимум пять столетий и, вероятно, даже более чем за тысячелетие. Если потепление будет продолжаться такими же темпами, то изменение климата в нынешнем столетии будет крайне необычным в геологическом плане. Еще один необычный аспект нынешнего изменения климата – его причина: в прошлом изменения климата были естественными по природе (см. ЧЗВ 6.1), тогда как в последние 50 лет потепление большей частью обусловлено деятельностью человека.

Сравнивая нынешнее изменение климата с предыдущими, естественными, необходимо провести три различия. Во-первых, должно быть ясно, какая переменная сравнивается: концентрация парниковых газов или температура (либо какой-то другой параметр климата), по абсолютной величине или по темпам изменения? Во-вторых, локальные изменения не следует путать с глобальными. Локальные изменения климата часто более значительны, чем глобальные, поскольку локальные факторы (например, изменения океанической или атмосферной циркуляции) могут смещать поток тепла или влаги из одного места в другое, и действуют локальные обратные связи (например, обратная связь по морскому льду). Большие изменения глобальной средней температуры, наоборот, требуют некоторого глобального воздействия (например, изменения концентрации парниковых газов или солнечной активности). В-третьих, необходимо различать временные масштабы. Изменения климата за миллионы лет могут быть гораздо более значительными и иметь другие причины (например, дрейф материков), нежели изменения климата в столетнем временном масштабе.

Главная причина нынешней обеспокоенности по поводу изменения климата – повышение концентрации в атмосфере углекислого газа (CO₂) и некоторых других парниковых газов, что очень необычно для четвертичного периода (последних почти двух миллионов лет). Сейчас по кернам антарктического льда точно известна концентрация CO₂ за последние 650 тысяч лет. За это время концентрация CO₂ менялась со 180 ppm в холодные ледниковые времена до 300 ppm в теплое межледниковье. За последнее столетие она быстро выросла и вышла далеко за пределы этого диапазона, составляя сейчас 379 ppm (см. главу 2). Для сравнения: для роста концентрации CO₂ приблизительно на 80 ppm в конце прошлых ледниковых периодов потребовалось свыше 5000 лет. Более высокие значения, чем сейчас, имели

место лишь много миллионов лет назад (см. ЧЗВ 6.1).

Температура – более сложная для реконструкции переменная, чем CO₂ (глобально идеально перемешанный газ), поскольку она не имеет единого значения по всей планете, следовательно, единичное показание (например, по керну льда) имеет лишь ограниченную ценность. Локальные колебания температуры, даже всего лишь за несколько десятилетий, могут составлять несколько десятков градусов Цельсия, что больше, чем глобальный показатель потепления за прошлое столетие (около 0,7°C).

Более значимым для глобальных изменений является анализ крупномасштабных (глобальных или по полушариям) средних значений, где большинство локальных изменений при усреднении исключается, а изменчивость меньше. Достаточный охват результатов измерений начал обеспечиваться всего лишь около 150 лет назад. Если говорить о более ранних периодах, то есть комплекты данных, которые относятся к периоду более чем тысячелетней давности: годовые кольца деревьев, керны льда и т.д., пространственный охват которых меньше (см. раздел 6.5). Хотя между этими реконструкциями есть различия и остается значительная неопределенность, все опубликованные реконструкции показывают, что температура была высокой в средневековье, а затем опустилась до низких значений в XVII, XVIII и XIX веках, после чего вновь быстро повысилась. Средневековый уровень теплоты неопределенный, но, возможно, он был вновь достигнут в середине XX века, лишь для того, чтобы вновь быть превышенным с тех пор. Эти выводы подтверждаются и моделированием климата. Более чем 2000 лет назад температурные колебания не объединялись систематически в крупномасштабные средние значения, но они не дают доказательства того, что вплоть до голоцена (последние 11600 лет; см. раздел 6.4) включительно глобальные среднегодовые температуры были выше, чем сейчас. Есть серьезные признаки того, что более теплый климат, со значительно меньшим глобальным ледяным покровом и более высоким уровнем моря, преобладал еще около 3 млн. лет назад. Таким образом, нынешнее потепление кажется необычным в контексте прошлых тысячелетий, но совсем не необычным в более долгосрочном разрезе, для которого типичны изменения тектонической активности (которые могут вызывать естественные, медленные изменения концентрации парниковых газов) (см. врезку 6.1).

Другой вопрос – нынешняя скорость потепления. Отражены ли в достоверных данных более быстрые глобальные изменения климата? Крупнейшие изменения температуры за последний миллион лет – это ледниковые циклы, во время которых глобальная средняя температура изменялась на 4-7°C между ледниковыми периодами и теплыми межледниковыми периодами (локальные изменения были намного значительнее,

например, вблизи материковых ледовых щитов). Тем не менее, эти данные указывают на то, что глобальное потепление в конце ледникового периода было постепенным процессом, который занял около 5000 лет (см. раздел 6.3). Поэтому ясно, что нынешние темпы глобального изменения климата гораздо более высокие и очень необычные в контексте прошлых изменений. Активно обсуждаемые резкие климатические сдвиги в ледниковые времена (см. раздел 6.3) – не контрпримеры, потому что они, вероятно, были обусловлены изменениями в океаническом переносе тепла, что вряд ли бы повлияло на глобальную среднюю температуру.

Если вернуться во времени еще дальше, раньше данных ледяных кернов, то временное разрешение проб осадков и других архивов не позволит объяснить изменения, такие же

быстрые, как и нынешнее потепление. Таким образом, хотя в прошлом и случались значительные изменения климата, доказательств того, что они происходили с большей скоростью, чем нынешнее потепление, нет. Если проекции, по которым температура в текущем столетии повышется приблизительно на 5°C (это верхний предел диапазона), станут реальностью, то Земля испытает приблизительно такое же глобальное среднее потепление, что и в конце последнего ледникового периода; нет никаких доказательств того, что такие темпы, которыми будет идти возможное будущее глобальное изменение температуры, когда-либо наблюдались за последние 50 млн. лет.

Часто задаваемый вопрос 7.1

Вызвано ли повышение содержания углекислого газа и других парниковых газов в атмосфере в индустриальную эпоху деятельностью человека?

Да, повышение содержания в атмосфере углекислого газа (CO_2) и других парниковых газов в индустриальную эпоху вызвано деятельностью человека. По сути дела, наблюдаемое повышение концентраций CO_2 в атмосфере не раскрывает весь масштаб выбросов, вызванных деятельностью человека, поскольку на него приходится всего лишь 55% CO_2 , выброшенного вследствие деятельности человека начиная с 1959 года. Остальное поглотили деревья на суше и океаны. Во всех случаях концентрации парниковых газов в атмосфере и их увеличение определяются балансом между источниками (выбросами газа вследствие деятельности человека и естественными системами) и поглотителями (удалением газа из атмосферы путем преобразования его в другое химическое соединение). Более 75% выбросов CO_2 от деятельности человека приходится на сжигание ископаемых видов топлива (плюс несколько меньший вклад производства цемента). Остальная часть – результат изменений в землепользовании (главным образом обезлесения). Что касается метана, еще одного важного парникового газа, то его выбросы из-за деятельности человека за последние 25 лет превысили естественные выбросы. Выбросы закиси азота вследствие деятельности человека равны естественным выбросам в атмосферу. Большинство долгоживущих галогенсодержащих газов (таких как фреоны) производят люди, и до индустриальной эпохи их в атмосфере не было. В среднем содержание тропосферного озона сейчас повысилось на 38% по сравнению с доиндустриальными временами, причем оно является результатом атмосферных реакций нестойких загрязнителей, испускаемых вследствие деятельности человека. Концентрация CO_2 сейчас составляет 379 частей на миллион (ppm), а метана – более 1774 частей на миллиард (ppb); весьма похоже, что обе эти цифры намного выше, чем в любой момент за минимум 650 тыс. лет (на протяжении которых CO_2 оставался в пределах 180-300 ppm, а метан – 320-790 ppb). Такие темпы изменений – резкие и беспрецедентные; рост концентрации CO_2 никогда не превышал 30 ppm за тысячу лет – а сейчас его концентрация выросла на 30 ppm всего лишь за последние 17 лет.

Углекислый газ

Выбросы CO_2 (рис. 1а) при горении ископаемых видов топлива, а также при производстве цемента являются причиной более чем 75% роста концентрации CO_2 в атмосфере с доиндустриальных времен. Остальная часть – результат изменений в землепользовании, главным образом обезлесения (и связанного с ним сжигания биомассы), а также изменений в методах ведения сельского хозяйства. Все это

увеличение вызвано деятельностью человека. Естественный углеродный цикл не может объяснить наблюдаемое за последние 25 лет повышение содержания CO_2 в атмосфере на 3,2-4,1 ГтС/год. (Одна ГтС равна 1015 г углерода, т.е. одному миллиарду тонн.)

Естественные процессы, такие как фотосинтез, дыхание, гниение и газообмен на морской поверхности, ведут к массовому обмену, источникам и поглотителям CO_2 между землей и атмосферой, которые составляют, по оценкам, ~120 ГтС/год) и между океаном и атмосферой (по оценкам – ~90 ГтС/год; см. рис. 7.3). Естественные поглотители углерода обеспечивают незначительное чистое поглощение CO_2 , приблизительно 3,3 ГтС/год за последние 15 лет, частично компенсируя выбросы от деятельности человека. Если бы естественные поглотители не поглотили почти половину созданного человеком CO_2 за последние 15 лет, то концентрации в атмосфере возросли бы еще значительно.

Известно, что повышение концентрации CO_2 вызвано деятельностью человека, потому что характер CO_2 в атмосфере, в частности отношение между тяжелыми и легкими атомами углерода в нем, изменилось так, что это можно отнести на счет выбросов углерода из ископаемого топлива. Кроме того, соотношение между кислородом и азотом в атмосфере упало по мере повышения концентрации углекислого газа; это – ожидаемый результат, потому что кислород истощается, когда сжигаются ископаемые топлива. Тяжелая форма углерода, изотоп углерод-13, меньше присутствует в растительности и в ископаемых видах топлива, которые образовались из растительности, и больше присутствует в углероде в океанах, вулканических и геотермальных выбросах. Относительное содержание изотопа углерод-13 в атмосфере снижается, показывая, что дополнительные количества углерода поступают из ископаемых топлив и растительности. Углерод также имеет редкий радиоактивный изотоп, углерод-14, который присутствует в атмосферном CO_2 , но отсутствует в ископаемом топливе. До испытаний атомного оружия в атмосфере уменьшение относительного содержания углерода-14 показало, что в атмосферу поступает углерод из ископаемого топлива.

Галогенсодержащие газы

Деятельность человека – основная причина концентрации в атмосфере долгоживущих галогенсодержащих газов. До индустриализации было лишь несколько естественных галогенсодержащих газов, например, метилбромид и метилхлорид. Разработка новых методов химического

синтеза привела в последние 50 лет XX века к распространению химически вырабатываемых галогенсодержащих газов. Выбросы основных галогенсодержащих газов, производимых людьми, показаны на рис. 1b.

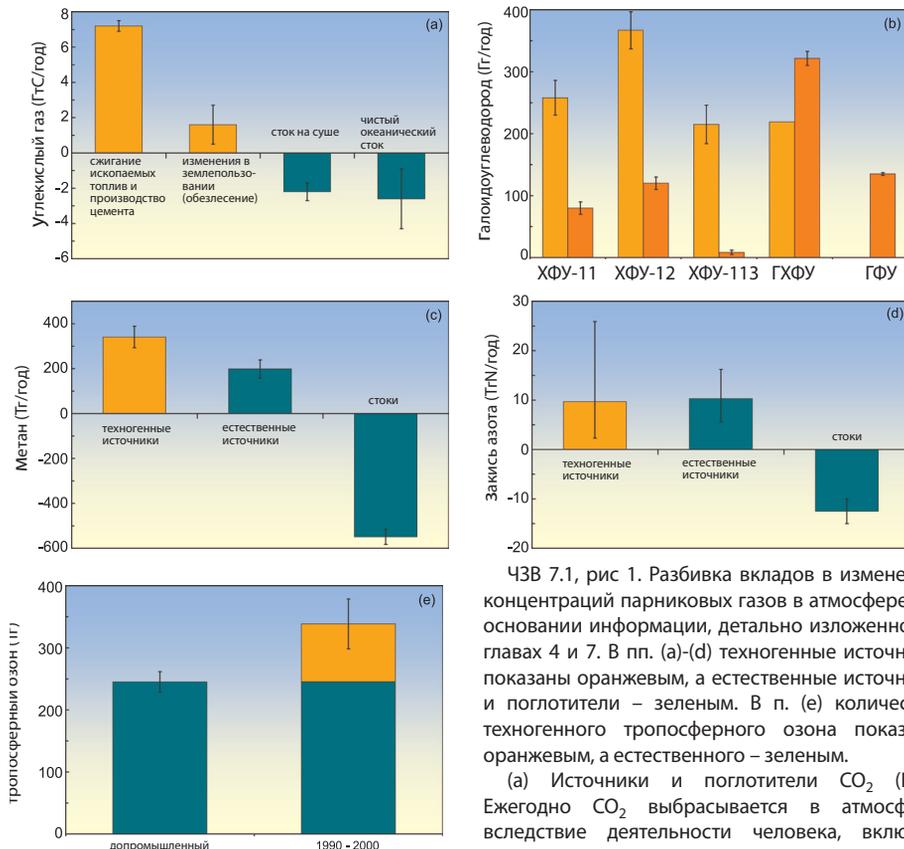
Для хлорфторуглеродов (ХФУ), показанных здесь, время жизни в атмосфере колеблется от 45 до 100 лет, для гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) – 1-18 лет, для гидрофторуглеродов (ГФУ) – 1-270 лет. Перфторуглероды (ПФУ, на графике не показаны) находятся в атмосфере тысячи лет. Концентрации нескольких важных галогенсодержащих газов, в т.ч. фреонов, на поверхности Земли сейчас стабилизируются и уменьшаются в результате подписания Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой, и поправок к нему. Концентрации ГХФУ, производство которых должно быть прекращено к 2030 году, и газов ГФУ и ПФУ, оговоренных в Киотском протоколе, в настоящее время увеличиваются.

Метан

Выбросы метана (CH_4) в атмосферу из источников, связанных с деятельностью человека, превышают его выбросы из естественных систем (рис. 1с). За 1960-1999 годы концентрации CH_4 выросли в среднем минимум в шесть раз быстрее, чем за любой 40-летний период двух тысячелетий до 1800 года, несмотря на почти нулевой рост с 1980 года. Основной естественный источник выбросов CH_4 в атмосферу – водно-болотные угодья. Среди других естественных источников – термиты, океаны, растительность и гидраты CH_4 . Виды человеческой деятельности, при которых вырабатывается CH_4 , включают производство энергии из угля и природного газа, захоронение отходов на свалках, выращивание жвачных животных (например, крупного рогатого скота и овец), рисоводство и сжигание биомассы. После выброса CH_4 остается в атмосфере приблизительно 8,4 года, после чего удаляется, преимущественно путем химического окисления в тропосфере. Незначительные стоки CH_4 – поглощение почвой и окончательное разрушение в стратосфере.

Закись азота

Объем выбросов закиси азота (N_2O) в атмосферу вследствие деятельности человека приблизительно равен



ЧЗВ 7.1, рис 1. Разбивка вкладов в изменения концентраций парниковых газов в атмосфере, на основании информации, детально изложенной в главах 4 и 7. В пп. (a)-(d) техногенные источники показаны оранжевым, а естественные источники и поглотители – зеленым. В п. (e) количество техногенного тропосферного озона показано оранжевым, а естественного – зеленым.

(a) Источники и поглотители CO_2 (ГтС). Ежегодно CO_2 выбрасывается в атмосферу вследствие деятельности человека, включая сжигание ископаемого топлива и изменения в землепользовании. Лишь 57-60% CO_2 , выброшенного вследствие деятельности человека, остается в атмосфере. Некоторая часть растворяется в океанах, а некоторая поглощается растениями в процессе роста. Связанные с землей потоки относятся к 1990-м годам; потоки, связанные с ископаемым топливом и цементом, а также чистое поглощение океаном даны за период 2000-2005 гг. Все значения и области неопределенности взяты из табл. 7.1.

(b) Глобальные выбросы фреонов и других галогенсодержащих соединений за 1990 г. (светло-оранжевый) и 2002 г. (темно-оранжевый). Эти химикаты производятся исключительно человеком. Здесь ГХФУ включают ГХФУ-22, -141b, -142b ГФУ – ГФУ-23, -125, -134a, -152a. Один Гт = 109 г (1000 тонн). Большинство данных взято из отчетов, перечисленных в главе 2.

(c) Источники и поглотители CH_4 за период 1983-2004 гг. Антропогенные источники CH_4 включают производство энергии, свалки, выращивание жвачных животных (например, КРС и овец), рисоводство, сжигание биомассы. Один Гт = 1012 г (1 млн. тонн). Значения и погрешности – это средние и квадратичные отклонения содержания CH_4 соответствующих совокупных значений из табл. 7.6.

(d) Источники и поглотители N_2O . Антропогенные источники N_2O включают превращение азота удобрений в N_2O и ее последующие выбросы с сельскохозяйственных земель, сжигание биомассы, скотоводство и некоторые виды промышленной деятельности, в частности, производство нейлона. Значения и погрешности источников – это средние точки и пределы диапазона из табл. 7.7. Потери N_2O взяты из главы 7.4.

(e) Тропосферный озон в XIX и начале XX века и за период 1990-2000 гг. Рост образования тропосферного озона вызван деятельностью человека, в частности, атмосферными химическими реакциями загрязнителей, выбрасываемых при сжигании ископаемых топлив или биотоплив. Доиндустриальное значение и область неопределенности взяты из табл. 4.9. Третьего доклада МГЭИК об оценках (ТДО), где они оценены по реконструированным наблюдениям. Итог на сегодняшний день и его область неопределенности – это среднее и квадратичное отклонения результатов модели, приведенных в табл. 7.9 этого отчета, кроме цифр, взятых из ТДО.

объему выбросов из естественных систем (рис. 1d). За 1960-1999 годы концентрации N_2O возросли в среднем минимум в два раза. быстрее, чем за любой 40-летний период двух тысячелетий до 1800 года. Естественные источники N_2O – океаны, химическое окисление аммиака в атмосфере и почвы. Особенно важный источник выбросов азота в атмосферу – тропические почвы. Среди видов деятельности человека, приводящих к выбросам N_2O , - переработка азота удобрений в N_2O и ее последующий выброс с сельскохозяйственных земель, сжигание биомассы, скотоводство и некоторые виды промышленной деятельности, в т. ч. производство нейлона. После выброса N_2O остается в атмосфере приблизительно 114 лет, а потом удаляется, главным образом путем разрушения в стратосфере.

Тропосферный озон

Тропосферный озон образуется в ходе фотохимических реакций в атмосфере с участием химикатов-прекурсоров,

таких как окись углерода, CH_4 , летучие органические соединения и оксиды азота. Эти химикаты образуются в ходе естественных биологических процессов и в результате деятельности человека, в том числе из-за изменений в землепользовании и в ходе сгорания топлива. Поскольку тропосферный озон относительно короткоживущий (он сохраняется в атмосфере от нескольких дней до нескольких недель), то его распределение очень изменчивое и связано с содержанием соединений-прекурсоров, водяного пара и солнечным светом.

Концентрации тропосферного озона значительно выше в городском воздухе, по ветру в городских районах и в регионах сжигания биомассы. Рост тропосферного озона на 38% (20-50%) по сравнению с доиндустриальной эпохой (рис. 1e) вызван деятельностью человека.

Часто задаваемый вопрос 8.1

Насколько достоверны модели, с помощью которых составляются проекции будущего изменения климата?

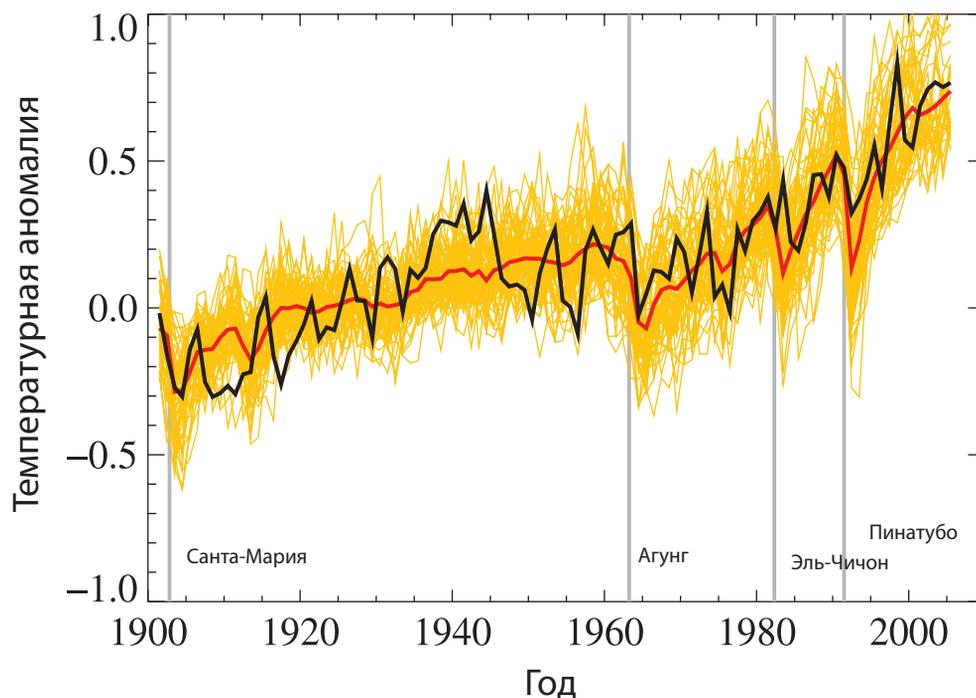
Есть достаточные доказательства того, что модели климата дают достоверные количественные оценки будущих изменений климата, особенно в разрезе континентов и шире. Эта достоверность проистекает из того, что модели построены на общепринятых физических принципах, а также из их способности воспроизводить наблюдаемые особенности текущего климата и прошлых изменений климата. Уверенность в результатах моделирования для некоторых переменных климата (например, температуры) выше, чем для остальных (например, количества осадков). За несколько десятилетий развития модели последовательно давали достоверную и однозначную картину значительного потепления как реакции на повышение концентрации парниковых газов.

Модели климата – это математические представления климатической системы, выраженные как машинные программы и выполняемые на мощных компьютерах. Один из источников уверенности в моделях происходит из того факта, что основы моделей построены на доказанных физических законах, например, на законах сохранения массы, энергии и импульса, а также на изобилии наблюдений.

Еще один источник уверенности – способность моделей имитировать важные аспекты текущего климата. Модели

постоянно и широко оценивают путем сравнения их результатов с наблюдениями за атмосферой, океаном, криосферой и земной поверхностью. Беспрецедентные объемы оценок проводились в прошедшем десятилетии в форме организованных многомодельных «взаимных сравнений». Модели демонстрируют значительную и все большую способность к представлению многих важных средних показателей климата, как то крупномасштабных распределений атмосферной температуры, осадков, радиации, ветра, океанических температур, течений и морского ледяного покрова. Модели могут также воспроизводить существенные аспекты многих профилей изменчивости климата, наблюдаемых по целому ряду временных шкал. Среди примеров – приход и уход основных муссонных систем, сезонные сдвиги температуры, пути циклонов и зоны дождей, возвратно-поступательные изменения затропического приземного давления в масштабе полушария (северный и южный «кольцевые режимы»). Некоторые модели климата, или близкие к ним варианты, также проверялись путем использования их для предсказания погоды и составления сезонных проекций. Эти модели демонстрируют искусство в составлении таких проекций, показывая, что они могут представлять важные

ЧЗВ 8.1, рис.1. Глобальные приземные температуры за XX век по результатам наблюдений (черный) и полученные из 58 имитаций в 14 разных моделях климата, основанных на естественных и антропогенных факторах, влияющих на климат (желтый). Показано также среднее значение всех этих результатов (толстая красная линия). Температурные аномалии показаны относительно среднего значения за 1901-1950 годы. Вертикальные серые линии обозначают время сильных извержений вулканов. (Рисунок адаптирован из главы 9, рис. 9.5. Дополнительные детали можно почерпнуть из соответствующей подписи.)



характеристики общей циркуляции в более коротких временных масштабах, а также особенности сезонной и межгодовой изменчивости. Способность моделей представлять эти и другие важные особенности климата повышает нашу уверенность в том, что они представляют существенные физические процессы, важные для моделирования будущих изменений климата. (Отметим, что ограничение возможности моделей предсказывать погоду больше чем на несколько дней не ограничивает их способность прогнозировать долгосрочные изменения климата, так как это совсем другой тип прогноза – см. ЧЗВ 1.2.).

Третий источник уверенности основан на способности моделей воспроизводить особенности прошлого климата и прошлых изменений климата. С помощью моделей имитируется климат древних времен, например, теплый климат среднего голоцена (6000 лет назад) или последнего ледникового максимума (21000 лет назад) (см. главу 6). Они могут воспроизводить многие характеристики (учитывая неопределенности в реконструкции прошлого климата), такие как порядок и широкомасштабный профиль океанического охлаждения во время последнего ледникового периода. Модели могут имитировать и многие наблюдаемые аспекты изменения климата по результатам измерений. Вот один пример: глобальный температурный тренд за последнее столетие (показанный на рис. 1) можно смоделировать с высоким качеством, если включить как человеческие, так и естественные факторы, влияющие на климат. Модели также воспроизводят другие наблюдаемые изменения, такие как более быстрое повышение ночной температуры, чем дневной, более значительную степень потепления в Арктике, небольшое, краткосрочное глобальное похолодание (и последующее восстановление), последовавшее за крупными извержениями вулканов, например, вулкана Пинатубо в 1991 году (см. ЧЗВ 8.1, рис. 1). Смоделированные проекции глобальной температуры на последние два десятилетия также в общем согласуются с последующими наблюдениями за этот период (глава 1).

Тем не менее, Тем не менее, модели все равно дают значительные ошибки. Хотя они, как правило, больше при меньших масштабах, остаются и серьезные крупномасштабные проблемы. Например, остаются недостатки в моделировании тропических осадков, Эль-Ниньо – Южного колебания и Колебания Маддена-Джулиана (наблюдаемых колебаний тропических ветров и дождей во временном масштабе 30-90 дней). Конечный источник большинства таких ошибок – то, что многие важные мелкомасштабные процессы невозможно представить в моделях явно, поэтому их приходится включать в приближенной форме, так как они взаимодействуют с особенностями большего масштаба. Это частично обусловлено ограничениями вычислительной мощности, а также является результатом ограничений в научном понимании или в наличии подробных наблюдений некоторых физических процессов. Значительные неточности, в частности, связаны с представлением облаков и в полученных реакциях облаков

на изменение климата. Как результат, модели продолжают отображать значительный диапазон глобального изменения температуры в ответ на заданное воздействие парникового газа (см. главу 10). Несмотря на такие неточности, однако, модели единогласны в своем предсказании существенного потепления климата под воздействием повышения содержания парниковых газов, и порядок этого потепления совпадает с независимыми оценками, выведенными из других источников, например, из наблюдаемых изменений климата и реконструкций климата за прошлые периоды.

Поскольку уверенность в изменениях, предсказанных глобальными моделями, при меньших масштабах снижается, то для исследования изменений климата в региональном и локальном масштабе специально разработаны другие методы, например, использование моделей регионального климата или методы уменьшения масштаба (см. ЧЗВ 11.1). Вместе с тем, поскольку глобальные модели продолжают развиваться, а их разрешение продолжает улучшаться, они становятся все более полезными для исследования важных особенностей меньшего масштаба, например, изменений в экстремальных метеорологических событиях, причем ожидаются дальнейшие усовершенствования в представлении регионального масштаба благодаря росту вычислительной мощности. Модели также становятся более всеобъемлющими в трактовке климатической системы, прямо представляя большее число физических и биофизических процессов и взаимодействий, которые считаются потенциально значимыми для изменения климата, особенно в более длинных временных масштабах. Среди примеров – недавнее включение в ряд глобальных моделей климата реакций растений, океанических биологических и химических взаимодействий, а также динамики ледовых щитов.

Подводя итог, отметим, что уверенность в моделях проистекает из их физической основы и их способности представлять наблюдаемый климат и изменения климата за прошлые периоды. Модели оказались исключительно важными инструментами для имитирования и понимания климата, и есть значительная уверенность в том, что они способны дать достоверные количественные оценки будущего изменения климата, особенно при больших масштабах. У моделей еще есть значительные недостатки, например, в представлении облаков, которые ведут к неточностям в порядке величины и временных параметрах прогнозируемого изменения климата, а также в его региональных характеристиках. Тем не менее, за несколько десятилетий развития моделей они неизменно дают достоверную и однозначную картину значительного потепления климата как реакцию на повышение содержания парниковых газов.

Часто задаваемый вопрос 9.1

Можно ли объяснить отдельные экстремальные явления парниковым потеплением?

Изменения в экстремальных климатических условиях ожидаются по мере потепления климата в ответ на повышение содержания парниковых газов в атмосфере из-за деятельности человека, например, использования ископаемых видов топлива. Однако определить, вызвано ли конкретное, отдельное экстремальное явление конкретной причиной, например, повышением содержания парниковых газов, трудно, если не невозможно, по двум причинам: 1) экстремальные явления обычно вызываются комбинацией факторов, 2) целый ряд экстремальных явлений является нормальным даже при отсутствии изменений климата. Тем не менее, анализ потепления, наблюдаемого за прошлое столетие, говорит о том, что вероятность некоторых экстремальных явлений, таких как волны тепла, повысилась из-за парникового потепления и что вероятность других явлений, таких как мороз или крайне холодные ночи, снизилась. Например, в одном из последних исследований высказано предположение о том, что влияние человека более чем удвоило риск очень жаркого лета в Европе, как в 2003 году.

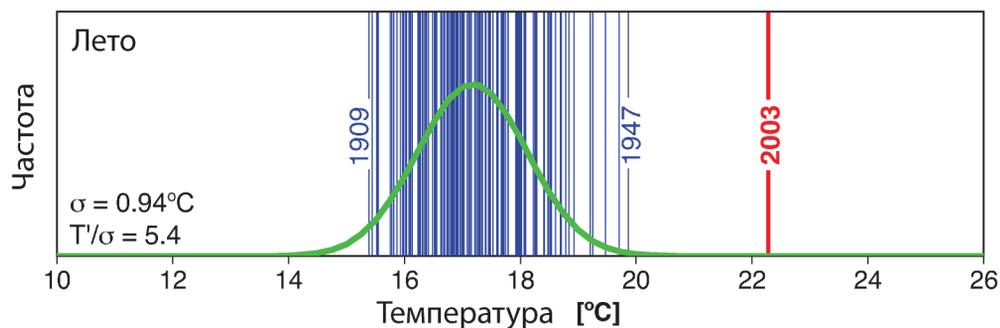
Люди, на которых воздействует экстремальное метеорологическое явление, часто спрашивают, можно ли считать влияние человека в некоторой степени ответственным за изменение климата. В последние годы наблюдается много экстремальных явлений, которые некоторые комментаторы связали с повышением содержания парниковых газов. Среди этих явлений – затяжная засуха в Австралии, исключительно жаркое лето 2003 года в Европе (см. рис. 1), интенсивные сезоны ураганов в Северной Атлантике в 2004 и 2005 годах, сильнейшие ливни в Мумбае (Индия) в июле 2005 г. Могло ли влияние человека, например, повышение концентраций парниковых газов в атмосфере, «вызвать» какое-либо из этих событий?

Экстремальные явления обычно являются результатом комбинации факторов. Например, исключительно жаркое европейское лето 2003 года было вызвано несколькими факторами, в т.ч. стойким антициклоном, связанным с очень ясным небом и сухой почвой, из-за чего для нагрева земли оставалось больше почвы. Точно так же образование урагана требует наличия

высокой температуры поверхности моря и особых условий атмосферной циркуляции. Поскольку на некоторые факторы, в частности, на температуру поверхности моря, может сильно влиять деятельность человека, а на некоторые – не может, то выявить влияние человека на отдельное, конкретное экстремальное явление непросто.

Тем не менее, можно с помощью моделей климата определить, изменило ли влияние человека вероятность определенных видов опасных явлений. Например, в случае с волной тепла в 2003 году в Европе климатическая модель была запущена с включением только прошлых изменений естественных факторов, влияющих на климат, например, вулканической активности и изменений в потоке солнечного излучения. Затем модель была запущена еще раз с учетом человеческих и естественных факторов, в результате чего была получена картина эволюции европейского климата, которая была гораздо ближе к той, которая фактически имела место. На основании этих экспериментов был сделан вывод о том, что за XX век влияние человека более чем удвоило риск наступления в Европе такого же жаркого лета, как в 2003 году, и что в отсутствие влияния человека этот риск, вероятно, равнялся бы одному случаю за много столетий. Для оценки изменений риска конкретных событий с сильными последствиями, например, наступлением ряда очень теплых ночей в городской зоне, такой как Париж, потребуется более детальная работа по моделированию.

Ценность такого вероятностного подхода – «Изменяет ли влияние человека вероятность события?» – состоит в том, что с его помощью можно оценить влияние внешних факторов, таких как повышение концентрации парниковых газов, на частоту конкретных видов явлений, таких как волны тепла или



ЧЗВ 9.1, рис. 1 Летняя температура в Швейцарии за период 1864-2003 гг. в среднем равна около 17°C, как показано зеленой кривой. Во время крайне жаркого лета 2003 года средняя температура превысила 22°C, как показано красной чертой (вертикальная линия нанесена для каждого года 137-летнего периода наблюдений). Подобранный гауссово распределение показано зеленым цветом. 1909, 1947 и 2003 отмечены, т.к. они представляют в данных экстремальные годы. Значения в нижнем левом углу означают квадратичное отклонение (σ) и аномалию за 2003 года, нормализованную квадратичным отклонением за 1864-2000 гг. (T'/σ). Из Schär et al. (2004).

мороз. Вместе с тем, необходим тщательный статистический анализ, поскольку вероятность отдельных экстремумов, например, мороза в конце весны, могла меняться вследствие сдвигов в изменчивости климата, а также изменений в средних климатических условиях. Такой анализ строится на оценках изменчивости климата, основанных на модели климата, поэтому используемые модели климата должны адекватно представлять эту изменчивость.

С помощью этого же вероятностного подхода можно исследовать изменения частоты сильных дождей или наводнений. Модели климата прогнозируют, что влияние человека будет вызывать рост частоты многих типов экстремальных явлений, в том числе экстремальных ливней. Уже есть доказательства того, что в последние десятилетия экстремальные ливни усилились в некоторых регионах, что ведет к усилению наводнений.

Часто задаваемый вопрос 9.2

Можно ли объяснить потепление в 20-м веке естественной изменчивостью?

Очень маловероятно, что потепление XX века можно объяснить естественными причинами. Конец XX века был необычно теплым. Палеоклиматические реконструкции показывают, что вторая половина XX века была, вероятно, самым теплым 50-летним периодом в северном полушарии за последние 1300 лет. Такое быстрое потепление соответствует научному пониманию того, как климат должен реагировать на быстрый рост концентрации парниковых газов – такой, как наблюдался в прошлом столетии; это потепление противоречит научному пониманию того, как климат должен реагировать на естественные внешние факторы, такие как изменчивость потока солнечного излучения и вулканическая активность. Модели климата дают надлежащий инструмент для изучения различных влияний на климат Земли. Если в модели включаются эффекты повышения концентрации парниковых газов, а также естественные внешние факторы, то эти модели дают хорошую имитацию потепления, имевшего место в прошлом столетии. Если же использовать только естественные факторы, то модели не воспроизводят наблюдаемое потепление. Если включить человеческие факторы, то модели имитируют и географический профиль изменения температуры по всей планете, подобного тому, которое имело место в последние десятилетия. Этот пространственный профиль, среди особенностей которого – большее потепление на высоких северных широтах, отличается от самых важных профилей естественной изменчивости, связанных со внутренними климатическими процессами, такими как Эль-Ниньо.

Колебания в климате Земли вызываются естественными внутренними процессами, такими как Эль-Ниньо, а также изменениями во внешних воздействиях. Эти внешние воздействия могут быть естественными по характеру, например, вулканическая активность и колебания потока солнечного излучения, или вызываться деятельностью человека, например, выбросами парниковых газов, искусственными аэрозолями, истощением озона и изменениями в землепользовании. Роль естественных внутренних процессов можно оценить, изучая наблюдаемые колебания климата и используя модели климата без изменения внешних факторов, влияющих на климат. Эффект внешних воздействий можно оценить с помощью моделей путем изменения этих факторов и применения физического понимания происходящих процессов. Общие эффекты естественной внутренней изменчивости и естественных внешних факторов можно оценить и по климатической информации, отраженной в годичных кольцах деревьев, ядрах льда и других видах естественных «термометров» до индустриальной эпохи.

Естественные внешние факторы, влияющие на климат, включают вулканическую активность и колебания потока солнечного излучения. При взрывных извержениях вулканов высоко в атмосферу иногда выбрасываются большие количества пыли и сульфатный аэрозоль, временно экранируя Землю и отражая солнечный свет обратно в космос. Солнечное излучение имеет 11-летний цикл и может также иметь более долговременные колебания. Деятельность человека за последние 100 лет, особенно сжигание ископаемых видов топлива, вызвала быстрый рост содержания углекислого газа и других парниковых газов в атмосфере. До индустриальной эпохи концентрации этих газов тысячи лет были почти стабильными. Деятельность человека также вызвала повышение концентрации в атмосфере мелких отражающих частиц, или «аэрозолей», особенно в 1950-1960-е годы.

Хотя естественные внутренние климатические процессы, такие как Эль-Ниньо, и могут вызывать колебания глобальной средней температуры на относительно короткие периоды, анализ показывает, что в значительной мере это вызвано внешними факторами. Короткие периоды глобального похолодания следовали за крупными извержениями вулканов, например, вулкана Пинатубо в 1991 году. В начале 20 века средняя глобальная температура повысилась, и в этот период концентрации парниковых газов начали расти, солнечная радиация, вероятно, увеличилась, а вулканическая активность была низкой. В 1950-1960-е годы средние глобальные температуры выровнялись, так как повышение выбросов аэрозолей при сжигании ископаемых видов топлив и других источников охладило планету. Извержение вулкана Агунг в 1963 году также привело к выбросу больших количеств отражающей пыли в верхние слои атмосферы. Быстрое потепление, наблюдаемое с 1970-х годов, наступило в период, когда над всеми остальными факторами доминировало повышение содержания парниковых газов.

Для определения вероятных причин изменения климата в XX веке были проведены многочисленные эксперименты с использованием моделей климата. Эти эксперименты показывают, что модели не могут воспроизвести быстрое потепление, наблюдаемое в последние десятилетия, если они учитывают только колебания солнечного излучения и вулканической активности. Однако, как показано на рис.1, модели способны имитировать наблюдаемые в XX веке изменения температуры, если они включают все важнейшие внешние факторы, в том числе влияние человека, например, парниковые газы, и естественные внешние факторы. Оцениваемые по моделям реакции на эти внешние факторы можно обнаружить в климате XX века на всей планете в целом

том, что преобладающей причиной глобального потепления, наблюдаемого в последние 50 лет, были именно человеческие, а не естественные факторы.

Оценки температур в северном полушарии за последние одно-два тысячелетия, основанные на природных «термометрах», таких как годовые кольца, которые изменяются по ширине или плотности по мере изменения температуры, а также архивные метеосводки, дают дополнительное свидетельство того, что потепление в XX веке нельзя объяснить только естественной внутренней изменчивостью и естественными внешними воздействиями. Достоверность этих оценок повышается, потому что до индустриальной эпохи колебания, которые они показывают в

средней температуре в северном полушарии, в значительной мере можно объяснить эпизодическим похолоданием, вызванным крупными извержениями вулканов и вариациями солнечного излучения. Остальная часть изменений в общем согласуется с изменчивостью, демонстрируемой моделями климата в отсутствие естественных и техногенных внешних факторов. Хотя в оценках температур за прошлые периоды есть неопределенность, они показывают, что, вероятно, вторая половина XX века была самым теплым 50-летним периодом за последние 1300 лет. Оценка изменчивости климата, вызванной естественными факторами, мала по сравнению с сильным потеплением в XX веке.

Часто задаваемый вопрос 10.1

Ожидается ли с изменением климата Земли изменение экстремальных явлений, таких как волны тепла, засуха, наводнения?

Да; тип, частота и интенсивность экстремальных явлений, как ожидается, изменятся по мере изменения климата Земли, причем эти изменения могут происходить даже при относительно незначительных средних изменениях климата. Изменения некоторых типов экстремальных явлений уже наблюдаются, например, изменения частоты и интенсивности волн тепла и значительных осадков (см. ЧЗВ 3.3).

В более теплом будущем климате риск наступления более интенсивных, более частых и более продолжительных волн тепла возрастет. Период сильной жары в Европе в 2003 году – пример экстремального теплового явления, длящегося от нескольких дней до более чем недели, который в более теплом климате будущего может стать более распространенным. Связанный с этим аспект экстремальных значений температуры состоит в том, что в большинстве регионов, скорее всего, будет понижение дневного (суточного) диапазона температур. Вероятно также, что в более теплом климате будущего будет меньше морозных дней (т.е. ночей, когда температура падает ниже точки замерзания). Увеличение продолжительности времен года связано с количеством морозных дней, и по прогнозам она с потеплением климата увеличится. Будет, вероятно, и снижение частоты вспышек холодного воздуха (т.е. периодов крайнего холода от нескольких дней до более чем недели) зимой в большинстве районов северного полушария. Исключения могут быть в районах с минимальным уменьшением крайнего холода в западной части Северной Америки, в Северной Атлантике, на юге Европы и Азии вследствие изменений атмосферной циркуляции.

Для более теплого будущего климата модели общей циркуляции системы «атмосфера-океан» предсказывают повышенную сухость летом и влажность зимой в большинстве районов северных средних и высоких широт. Летняя сухость означает повышенный риск засухи. Вместе с риском высыхания растет вероятность сильных осадков и наводнений вследствие большей водоудерживающей способности более теплой атмосферы. Это уже наблюдается и, по прогнозам, будет продолжаться, потому что в более теплом мире осадки обычно концентрируются в более сильные явления, с более длительными периодами меньших осадков между ними. Таким образом, интенсивные и сильные ливни будут перемежаться более длительными относительно сухими периодами. Еще один аспект этих прогнозируемых изменений состоит в том, что экстремальная влажность, по прогнозам, будет более значительной там, где прогнозируется рост среднего количества осадков, а экстремальная сухость – там, где ожидается уменьшение этого показателя.

В соответствии с результатами повышения экстремумов сильных осадков, даже если сила ветра при штормах в будущем

климате не изменится, экстремальная сила дождей возрастет. В частности, над сушей северного полушария ожидается повышение вероятности очень влажных зим в большей части центральной и северной Европы вследствие увеличения сильных осадков во время штормов, что создает повышенный риск наводнений в Европе и других среднеширотных регионах из-за более сильных дождей и снегопадов, создающих большее стекание. Аналогичные результаты получены для летних осадков, вследствие чего возникает повышенная вероятность наводнений в азиатском муссонном регионе и других тропических районах. Повышенный риск наводнений в ряде бассейнов больших рек в будущем более теплом климате связывается с повышением дебита рек при повышенном риске будущих сильных выпадений осадков и наводнений, связанных со штормами. Некоторые из этих изменений будут продолжением тенденций, которые видны уже сегодня.

Результаты моделирования уже свидетельствуют о том, что будущие тропические циклоны могут стать более сильными, с более высокой силой ветра и более значительными осадками. Исследования показывают, что такие изменения, возможно, уже идут; есть признаки того, что среднее число ураганов 4 и 5 категории в год за последние 30 лет увеличилось. В некоторых исследованиях прогнозируется уменьшение числа тропических циклонов в мире вследствие повышенной стабильности тропической тропосферы в более теплом климате, которая характеризуется меньшим количеством слабых и большим количеством сильных штормов. В ряде модельных исследований проецируется общая тенденция уменьшения числа бурь за тропиками с одновременным повышением их силы, а также тенденция к усилению ветров и повышению высоты океанических волн в некоторых регионах в связи с этими более глубокими циклонами. Модели также проецируют сдвиг траекторий циклонов на несколько градусов широты в направлении полюсов в обоих полушариях.

Часто задаваемый вопрос 10.2

Насколько вероятны существенные или резкие изменения климата, такие как убыль ледовых щитов или изменения в глобальной океанической циркуляции?

Имеющиеся результаты моделирования дают основание полагать, что в XXI веке вряд ли возможны такие резкие изменения климата, как разрушение Западно-Антарктического ледового щита, быстрая убыль Гренландского ледового щита или крупномасштабные изменения в океанических циркуляционных системах. Однако вероятность таких изменений все более повышается по мере прогрессирования возмущения в климатической системе.

Физический, химический и биологический анализ кернов гренландского льда, морских отложений из Северной Атлантики и других районов, а также множества других свидетельств климата прошлых периодов показал, что локальные температуры, ветровые режимы и круговорот воды могут быстро меняться всего лишь за несколько лет. Сравнение результатов наблюдений в разных частях света показывает, что в прошлом имели место серьезные изменения в масштабе полушарий или всей планеты. В результате выработалось мнение о неустойчивом климате прошлого, который проходил этапы резких изменений. Поэтому важной проблемой является то, что продолжающийся рост концентраций парниковых газов в атмосфере может создавать возмущение, достаточно сильное для того, чтобы вызвать резкие изменения в климатической системе. Такое вмешательство в климатическую систему можно было бы считать опасным, ибо оно имело бы существенные глобальные последствия.

Перед тем, как обсудить несколько примеров таких изменений, полезно определить термины «резкое» и «существенное». «Резкое» означает, что изменения происходят гораздо быстрее, чем возмущение, их вызвавшее; иными словами, реакция – нелинейная. «Существенное» изменение климата – это изменение, предполагающее изменения, выходящие за диапазон текущей естественной изменчивости и имеющие пространственный охват от нескольких тысяч километров до всей площади поверхности Земли. В локальном и региональном масштабе резкие изменения – типичная характеристика естественной изменчивости климата. Отдельные, кратковременные явления, которые уместнее называть «экстремальными явлениями», здесь не учитываются, а во внимание принимаются довольно крупномасштабные изменения, которые быстро развиваются и продолжаются несколько лет или десятилетий. Например, сдвиг в температурах морской поверхности в середине 1970-х гг. в восточной части Тихого океана или уменьшение солености в верхних 1000 м Лабрадорского моря в середине 1980-х гг. – примеры резких явлений с локальными и региональными последствиями, в отличие от более масштабных, более продолжительных явлений, на которых здесь делается акцент.

Один пример – проблема потенциального коллапса или остановки Гольфстрима, которая привлекла внимание широкой общественности. Гольфстрим – это преимущественно горизонтальное течение в северо-западной части Атлантического океана, приводимое в движение ветрами. При этом, однако, на стабильное свойство общей циркуляции океана, его северное расширение, которое питает формирование глубинных вод в Гренландском, Норвежском и Исландском морях, доставляя таким образом значительные количества тепла в эти моря и к близлежащим участкам суши, сильно влияют изменения плотности поверхностных вод в этих районах. Это течение образует северное окончание меридиональной опрокидывающей циркуляции бассейнового масштаба (МОЦ), которое формируется вдоль западной границы Атлантического бассейна. Непротиворечивым результатом моделирования климата является то, что плотность поверхностных вод в Северной Атлантике снижается вследствие потепления или уменьшения солености, сила МОЦ уменьшается, а с ней снижается и подача тепла в эти районы. Сильное устойчивое снижение солености могло бы вызвать даже более значительное уменьшение или полную остановку МОЦ во всех прогнозных моделях климата. Такие изменения действительно случались в далеком прошлом.

Сейчас вопрос состоит в том, является ли растущее влияние человека на атмосферу достаточно сильным возмущением для МОЦ для того, чтобы такое изменение началось. Повышение содержания парниковых газов в атмосфере приводит к потеплению и активизации гидрологического цикла, а последний фактор делает поверхностные воды Северной Атлантики менее солеными, поскольку усилившиеся дожди обеспечивают стекание в океан большего количества пресной воды из рек региона. Потепление также вызывает таяние материкового льда, вследствие чего увеличивается приток пресной воды и еще больше снижается соленость поверхностных вод. Оба эффекта снизили бы плотность поверхностных вод (которые должны быть достаточно плотными и тяжелыми, чтобы тонуть и приводить этим в движение МОЦ), в результате чего в XXI веке МОЦ сократилась бы. По прогнозам это уменьшение будет идти в ногу с потеплением: ни одна из нынешних моделей не показывает в текущем столетии резкого (нелинейного) сокращения или полной остановки. Разброс результатов моделирования сокращения МОЦ все равно велик, практически от отсутствия реакции до сокращения более чем на 50% к концу XXI века. Эти межмодельные вариации обусловлены разницей в силе атмосферных и океанических обратных связей, которые имитируются в этих моделях.

Есть неопределенность и в отношении долгосрочной перспективы МОЦ. Многие модели прогнозируют восстановление МОЦ после стабилизации климата. В некоторых моделях, однако, есть пороги для МОЦ, и они проходятся, когда воздействие достаточно сильно и длится достаточно долго. Такие модели показывают постепенное сокращение МОЦ, которое продолжается даже после стабилизации климата. Количественная оценка вероятности такого развития события на данном этапе невозможна. Тем не менее, даже если бы это случилось, Европа все равно испытала бы потепление, так как радиационное воздействие, вызванное повышением концентрации парниковых газов, подавило бы похолодание, связанное с сокращением МОЦ. Поэтому катастрофические сценарии, предсказывающие начало ледникового периода из-за остановки МОЦ, - не более чем предположения, и ни одна модель климата такого результата не дала. На самом деле процессы, приводящие к ледниковому периоду, достаточно хорошо поняты и полностью отличаются от обсуждаемых здесь, поэтому мы с уверенностью можем исключить этот сценарий.

Независимо от долгосрочного развития МОЦ модели сходятся в том, что потепление и снижение солёности в результате него значительно сократят формирование глубинных и промежуточных вод в Лабрадорском море в следующие несколько десятилетий. Это изменит характеристики промежуточных водных масс в Северной Атлантике и в конечном итоге повлияет на большие глубины океана. Долговременные последствия такого изменения неизвестны.

Среди других широко обсуждаемых примеров резких изменений климата - быстрый распад Гренландского ледового щита или внезапное разрушение Западно-Антарктического

ледового щита. Результаты моделирования и наблюдения показывают, что потепление в высоких широтах северного полушария ускоряет таяние Гренландского ледового щита и что усиление снегопадов вследствие активизации гидрологического цикла не способно компенсировать это таяние. Как результат, Гренландский ледовый щит в следующие столетия может значительно уменьшиться в размерах. Более того, результаты говорят о том, что есть критический температурный порог, за которым щит должен будет полностью исчезнуть, причем этот порог может быть превзойден уже в нынешнем столетии. Вместе с тем, полное таяние Гренландского ледового щита, которое подняло бы глобальный уровень моря почти на семь метров, - процесс медленный, который занял бы многие сотни лет.

Последние спутниковые и прямые наблюдения за ледяными потоками в разрушающихся шельфовых ледниках подчеркивают ряд быстрых реакций систем ледовых щитов. Это поднимает новый вопрос - об общей стабильности Западно-Антарктического ледового щита, разрушение которого повысило бы уровень моря еще на 5-6 метров. Хотя эти потоки, как кажется, подпираются находящимися вперед них шельфами, в данный момент неизвестно, может ли уменьшение или исчезновение этой опоры относительно ограниченных площадей ледового щита вызвать масштабный сход множества ледяных потоков и, следовательно, дестабилизацию всего Западно-Антарктического ледового щита. Модели ледовых щитов лишь начинают учитывать такие мелкомасштабные динамические процессы, которые включают сложные взаимодействия с ложем ледника и океаном по периметру ледового щита. Поэтому нынешнее поколение моделей ледовых щитов не дает количественной информации о вероятности или времени такого события.

Часто задаваемый вопрос 10.3

Если уменьшить выбросы парниковых газов, как быстро их концентрация в атмосфере снизится?

Регулирование концентрации парниковых газов в атмосфере в соответствии с уменьшением выбросов зависит от химических и физических процессов, которые удаляют эти газы из атмосферы. Концентрация некоторых парниковых газов снижается почти мгновенно в ответ на уменьшение выбросов, а концентрация других может продолжать расти в течение столетий даже при сокращении выбросов.

Концентрация парникового газа в атмосфере зависит от конкуренции между интенсивностью испускания газа в атмосферу и скоростью процессов, которые удаляют его из атмосферы. Например, обмен углекислым газом между атмосферой, океаном и сушией осуществляется посредством таких процессов, как атмосферно-океанический газообмен, химический (например, выветривание) и биологические (например, фотосинтез) процессы. Хотя более половины выброшенного CO_2 сейчас удаляется из атмосферы в течение максимум столетия, некоторая часть (около 20%) выброшенного CO_2 остается в атмосфере многие тысячелетия. Из-за медленной скорости процессов удаления концентрация CO_2 в атмосфере в долгосрочной перспективе будет продолжать расти, даже если выбросы существенно сократятся по сравнению с нынешними уровнями. Метан (CH_4) удаляется химическими процессами в атмосфере, а закись азота (N_2O) и некоторые галоидоуглеводороды разрушаются в верхних слоях атмосферы солнечной радиацией. Все эти процессы идут в разных временных масштабах – от нескольких лет до тысячелетий. Мера этого показателя – время жизни газа в атмосфере, определяемое как время, необходимое для снижения уровня возмущения до 37% начального значения.

Если для CH_4 , N_2O и других незначительных газовых помесей,

таких как гидрохлорфторуглерод-22 (ГХФУ-22), охлаждающая жидкость, это время жизни можно обоснованно определить (для CH_4 – около 12 лет, для N_2O – около 110 лет, для ГХФУ-22 – около 12 лет), то время жизни CO_2 определить невозможно.

Изменение концентрации любой незначительной газовой помеси частично зависит от динамики ее выбросов во времени. Если выбросы со временем растут, то концентрация в атмосфере тоже будет расти, независимо от времени жизни газа в атмосфере. Если же принять меры по сокращению выбросов, то концентрация такой помеси будет зависеть от относительных изменений не только в выбросах, но и в процессе удаления. Здесь мы показываем, как время жизни и процессы удаления разных газов диктуют динамику концентраций при сокращении выбросов.

Для иллюстрации на рис. 1 показаны контрольные примеры, показывающие, как концентрация трех газовых помесей реагировала бы на показательные изменения в объеме выбросов (эта реакция представлена здесь как ответ на принудительное импульсное изменение выбросов). Мы рассматриваем CO_2 , который не имеет конкретного времени жизни, незначительную газовую помесь с четко определенным длительным временем жизни, порядка столетия (например, N_2O), а также незначительную газовую помесь с четко определенным коротким временем жизни, порядка десятилетия (например, CH_4 , ГХФУ-22 или другие галоидоуглеводороды). Для каждого газа представлены пять иллюстративных вариантов будущих выбросов: стабилизация сегодняшних уровней и незамедлительное сокращение выбросов на 10%, 30%, 50% и 100%.

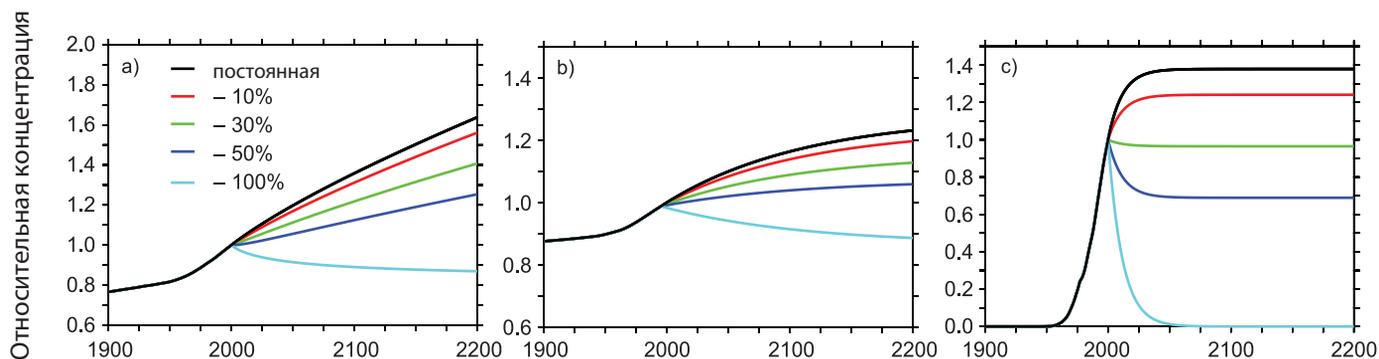


Рис. 1. (а) Смоделированные изменения концентрации CO_2 в атмосфере относительно нынешнего уровня при стабилизации выбросов на нынешнем уровне (черный), при уменьшении выбросов на 10% (красный), 30% (зеленый), 50% (синий) и 100% (голубой); (b) как в (а), для незначительной газовой помеси со временем жизни 120 лет, под действием естественных и антропогенных потоков; (с) как в (а), для незначительной газовой помеси со временем жизни 12 лет, под действием только антропогенных потоков.

Поведение CO_2 (рис. 1а) полностью отличается от поведения незначительных газовых помесей с четко определенным временем жизни. Стабилизация выбросов CO_2 на нынешних уровнях привела бы к непрерывному повышению концентрации CO_2 в атмосфере в XXI веке и в последующие столетия, тогда как для газа со временем жизни порядка столетия (рис. 1b) или десятилетия (рис. 1c) стабилизация выбросов на нынешнем уровне привела бы к стабилизации концентрации на более высоком уровне, чем сегодня, за пару столетий или, соответственно, десятилетий. Фактически только в случае практически полного прекращения выбросов концентрацию углекислого газа в атмосфере можно стабилизировать на постоянном уровне. Во всех остальных случаях умеренного сокращения выбросов CO_2 концентрация растет из-за характерных процессов обмена, связанных с углеродным циклом в климатической системе.

Говоря конкретнее, интенсивность выбросов CO_2 сейчас значительно превышает скорость его удаления, а медленное и неполное удаление означает, что небольшое или умеренное сокращение выбросов не приведет к стабилизации концентрации CO_2 , а только уменьшит скорость ее роста в последующие десятилетия. Сокращение выбросов углекислого газа на 10% приведет к снижению темпов роста концентрации на 10%, сокращение на 30% - аналогичным образом даст снижение темпов роста концентрации на 30%. Сокращение выбросов на 50% стабилизировало бы концентрацию CO_2 , но только менее чем на десятилетие. После этого концентрация опять начала бы повышаться, так как поглотители на

суше и в океане сокращаются из-за хорошо известных химических и биологических вмешательств. По оценкам, полное прекращение выбросов углекислого газа приведет к медленному снижению его концентрации в атмосфере за XXI век приблизительно на 40 ppm.

С незначительными газовыми помесями, имеющими четко определенное время жизни, ситуация абсолютно иная. Для иллюстративной помеси со временем жизни порядка столетия (например, N_2O) стабилизация концентрации на уровне, близком к сегодняшнему, требует сокращения выбросов более чем на 50% (рис. 1b). Непрерывные выбросы приводят к стабилизации концентрации в течение нескольких столетий.

В случае с иллюстративным газом с коротким временем жизни потеря на сегодняшний день составляет 70% выбросов. Сокращение выбросов менее чем на 30% все равно сохранит краткосрочное увеличение концентрации, однако, в отличие от CO_2 , приведет к стабилизации концентрации за пару десятилетий (рис. 1c). Уменьшение уровня, на котором стабилизировалась бы концентрация такого газа, прямо пропорционально сокращению выбросов. Таким образом, в данном иллюстративном примере для стабилизации концентрации на уровнях, значительно более низких, чем сегодня, потребовалось бы сокращение выбросов указанной незначительной газовой помеси более чем на 30%. Полное прекращение выбросов незначительной газовой помеси со временем жизни порядка десятилетия привело бы к возврату на доиндустриальный уровень концентрации менее чем за столетие.

Часто задаваемый вопрос 11.1

Варьируются ли проекции изменения климата по регионам?

Климат изменяется от региона к региону. Это изменение определяется неравномерным распределением солнечного тепла, отдельными реакциями атмосферы, океанов и земной поверхности, взаимодействием между ними, физическими характеристиками регионов. Возмущения атмосферных составляющих, приводящие к глобальным изменениям, влияют на определенные аспекты этих сложных взаимодействий. Некоторые антропогенные факторы, которые влияют на климат («воздействия»), глобальны по характеру, а некоторые изменяются от региона к региону. Например, углекислый газ, который вызывает потепление, распределяется вокруг земного шара равномерно, независимо от местонахождения источника выбросов, тогда как сульфатные аэрозоли (мелкие частицы), которые частично компенсируют потепление, как правило, имеют региональное распределение. Более того, реакция на воздействия частично регулируется процессами обратной связи, которые могут действовать в других регионах, а не в тех, где воздействие максимальное. Таким образом, проекции изменения климата также будут варьироваться от региона к региону.

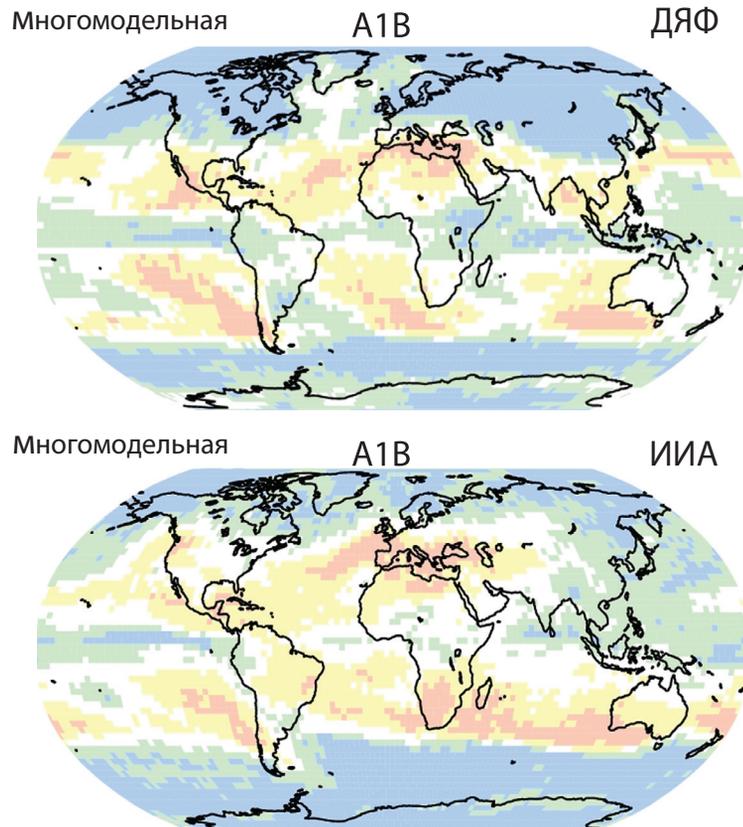
Хорошая отправная точка для рассмотрения того, как изменения климата повлияют на регион, - широта. Например, хотя потепление ожидается по всей Земле, степень проецируемого потепления обычно возрастает от тропиков до полюсов в северном полушарии. Осадки - более сложный момент, но здесь тоже есть некоторые зависящие от широты особенности. На широтах, соседних с полярными областями, проецируется увеличение осадков, а во многих областях, смежных с тропиками, - уменьшение (см. рис. 1). Уменьшение количества осадков в тропиках проецируется на дождливые сезоны (например, муссоны) и, в частности, в тропической части Тихого океана.

Еще один важный фактор - положение относительно океанов и горных хребтов. В общем внутренние районы материков по прогнозам будут нагреваться больше прибрежных областей. Реакция осадков особенно чувствительна не только к геометрической форме материков, но и к форме близлежащих горных хребтов и направлению воздушных потоков. Муссоны, внетропические циклоны, ураганы/тайфуны - все они тем или иным образом зависят от этих региональных особенностей.

Некоторые из самых сложных аспектов понимания и составления проекций изменений регионального климата относятся к возможным изменениям циркуляции атмосферы и океанов

и профилям их изменчивости. Хотя в некоторых случаях можно сделать общие утверждения о ряде регионов с качественно похожим климатом, почти каждый регион в том или ином смысле уникален - будь то прибрежные зоны вокруг субтропического Средиземного моря, экстремальная погода во внутренних районах Северной Америки, зависящая от переноса влаги из Мексиканского залива, или взаимодействие между распределением растительности, океаническими температурами и атмосферной циркуляцией, которое помогает регулировать южную границу Сахары.

Разработка и понимание правильного баланса глобальных и региональных факторов остается сложной задачей, однако понимание этих факторов неуклонно растет, повышая нашу уверенность в региональных проекциях.



ЧЗВ 11.1, рис 1. Синие и зеленые участки на карте - это области, которые по проекциям до конца столетия испытают увеличение количества осадков, а для розовых и желтых участков будет характерно уменьшение. В верхней части показаны прогнозы на период, охватывающий декабрь, январь и февраль, а в нижней - на июнь, июль и август.

Приложение I

Глоссарий

Редактор: А.П.М. Баэде (Нидерланды)

Примечания: В данном Глоссарии некоторые конкретные термины определены так, как ведущие авторы хотят толковать их в контексте настоящего доклада. Выделение слова красным курсивом означает, что данный термин определен в Глоссарии.

8.2ka event – Событие, происшедшее 8,2 тыс. лет назад. За последним последледниковым потеплением около 8,2 тыс. лет назад произошло быстрое колебание *климата*, которое длилось около 400 лет.

Abrupt climate change – Резкое изменение климата. *Нелинейность климатической системы* может привести к резкому изменению климата, иногда называемому *быстрым изменением климата, внезапными или даже неожиданными явлениями*. Термин резкое часто относится к более быстрым временным масштабам, нежели типовой временной масштаб воздействия, вызвавшего изменение. Вместе с тем, не все резкие изменения климата обязательно вызваны *внешним воздействием. Некоторые из таких возможных внезапных явлений, предложенных исследователями, включают существенную реорганизацию* термохалинной циркуляции, быстрое отступление ледников, массовое таяние *вечной мерзлоты* или усиление почвенного дыхания, что ведет к быстрым изменениям в *углеродном цикле*. Другие явления могут оказаться совершенно неожиданными вследствие сильного, быстро меняющегося воздействия нелинейной системы.

Active layer – Активный слой. Слой грунта, подвергающийся ежегодному таянию и замораживанию в районах, под которыми *лежит вечная мерзлота* (Van Everdingen, 1998).

Adiabatic process – Адиабатический процесс. Процесс, в котором система не получает и не теряет внешней теплоты. Противоположное явление – *неадиабатический процесс*.

Adjustment time – Время трансформации (адаптации). См. *Время жизни*; см. также *Время реакции*.

Advection – Адвекция. Перенос воды или воздуха вместе с их свойствами (например, температурой, химическими показателями) движением жидкости. Если говорить об общем различии между адвекцией и конвекцией, то первый из этих терминов означает главным образом горизонтальные, широкомасштабные перемещения *атмосферы* или океана, тогда как конвекция описывает главным образом вертикальные перемещения, вызванные локальными факторами.

Aerosols – Аэрозоли. Совокупность находящихся в воздухе твердых или жидких частиц, размер которых обычно составляет от 0,01 до 10 мкм и которые сохраняются в *атмосфере* минимум несколько часов. Аэрозоли могут быть как естественного, так и *антропогенного* происхождения. Аэрозоли могут воздействовать на *климат* несколькими способами: непосредственно - путем рассеивания и поглощения излучения и косвенно - действуя в качестве *облачных ядер конденсации* либо путем изменения оптических свойств и времени жизни облаков. См. *Косвенное воздействие аэрозолей*.

Afforestation - Облесение. Выращивание новых лесов на землях, которые ранее не находились под лесами. Анализ 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” (IPCC, 2000). См. также доклад «Определения

и методологические варианты составления кадастра выбросов в результате непосредственной антропогенной деградации лесов и исчезновения других типов растительности» (IPCC, 2003).

Air mass – 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).

Albedo - 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; поверхности, покрытые растительностью, и океаны характеризуются низким альbedo. Планетарное альbedo Земли варьируется, главным образом, в результате изменения облачности, снежного и ледяного покрова, листовой поверхности и растительного покрова.

Albedo feedback – Обратная связь альbedo. *Климатическая обратная связь*, предполагающая изменения в *альbedo* Земли. Она обычно означает изменения в *криосфере*, альbedo которой намного больше (~0,8), чем среднее планетарное (~0,3). При потеплении *климата* ожидается, что криосфера уменьшится, общее альbedo Земли понизится, и будет поглощаться больше солнечной радиации, в результате чего Земля будет еще больше нагреваться.

Alkalinity – Щелочность. Мера способности раствора нейтрализовать кислоты.

Altimetry – Альтиметрия. Метод измерения уровня моря, озера или реки, поверхности суши или льда относительно центра Земли в определенной земной системе координат. Более традиционно – уровень моря берется относительно эталонного нормального эллипсоида, аппроксимирующего сплюснутость Земли, и в настоящее время может измеряться из космоса с помощью радиолоатора или лазера с сантиметровой точностью. Среди преимуществ альтиметрии – то, что она является геоцентрическим измерением, а не измерением относительно земной коры, как это имеет место при использовании *мареографа*, и то, что она обеспечивает практически глобальный охват.

Annular modes - Кольцевые режимы. Предпочтительные модели изменений атмосферной циркуляции, соответствующие изменениям в западных ветрах средних широт, усредненных по зонам. *Северный кольцевой режим* смещен в сторону Северной Атлантики и сильно коррелируется с *Северо-Атлантическим колебанием*. *Южный кольцевой режим* существует в южном полушарии. Изменчивость западных ветров средних широт известна также как неустойчивость *зональных течений* (или ветров) и определяется через *зональный индекс*. Соответствующие индексы циркуляции приведены во Вставке 3.4.

Anthropogenic – Антропогенный. Являющийся результатом или продуктом деятельности человека.

Atlantic Multi-decadal Oscillation (AMO) - Атлантическое внутривековое колебание (АВК) Внутривековое (65-75 лет) колебание в Северной Атлантике, во время которого *температура морской поверхности* демонстрировала теплые периоды, приблизительно с 1860 по 1880 и с 1930 по 1960 гг., и холодные периоды, с 1905 по 1925 и с 1970 по 1990 гг., с диапазоном порядка 0,4°C.

Atmosphere - 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 в следовых количествах, таких, как аргон (0,93% состава смеси по объему), гелий и радиационно *активные парниковые* газы, такие как *углекислый газ* (0,035% состава смеси по объему) и *озон*. Кроме того, атмосфера содержит водяной пар, являющийся парниковым газом, количество которого варьируется в широких пределах, но, как правило, составляет около 1% состава смеси по объему. Атмосфера также содержит облака и *аэрозоли*.

Atmospheric boundary layer - Пограничный слой атмосферы Слой атмосферы, прилегающий к поверхности Земли, на который действует трение об эту пограничную поверхность и, возможно, перенос тепла и других факторов по этой поверхности (AMS, 2000). Около 10 нижних метров пограничного слоя, где преобладает механическое формирование турбулентности, называется *приземным пограничным слоем* или *приземным слоем*.

Atmospheric lifetime - Время жизни в атмосфере См. *Время жизни*.

Attribution - Объяснение причин наблюдаемых изменений См. *Обнаружение и объяснение причин наблюдаемых изменений*

Autotrophic respiration - Автотрофное дыхание *Дыхание фотосинтезирующих* организмов (растений).

Bayesian method - Байесовский метод Метод, которым в два этапа проводится статистический анализ неизвестного или неопределенного количественного показателя. Во-первых, на основе существующих знаний формулируется априорное распределение вероятностей (либо с помощью экспертных оценок, либо с помощью существующих данных и результатов исследований). На первом этапе на выбор может повлиять элемент субъективности, но во многих случаях априорное распределение вероятностей выбирается по возможности нейтрально, чтобы не повлиять на конечный результат анализа. На втором этапе вводятся, с помощью теоремы, сформулированной британским математиком Байесом (1702-1761) и названной в его честь, вновь полученные данные, чтобы обновить априорное распределение и получить из него апостериорное распределение.

Biomass - Биомасса Общая масса живых организмов на данной площади или в данном объеме; в мертвую биомассу можно включать мертвый растительный материал.

Biome - Биом Основной отдельный региональный элемент *биосферы*, состоящий обычно из нескольких *экосистем* (например, *лесов*, рек, водоемов, болот в пределах *региона*). Биомы характеризуются типовыми сообществами растений и животных.

Biosphere (terrestrial and marine) - Биосфера (земная и морская) Часть системы Земли, включающая все *экосистемы*

и живые организмы в *атмосфере*, на суше (*земная биосфера*) или в океане (*морская биосфера*), в том числе производное мертвое органическое вещество, например подстилку, почвенный органический материал и океанический детрит.

Black carbon (BC) - Технический углерод Вид *аэрозоля*, оперативно определенный на основе измерения коэффициента поглощения света и химической активности и (или) температурной устойчивости; состоит из *сажи*, *древесного угля* и (или), в соответствующих случаях, светопоглощающего огнеупорного органического вещества (Charlson and Heintzberg, 1995, p. 401).

Blocking anticyclone - Блокирующий антициклон Антициклон, который остается почти стационарным в течение недели или более в средних и высоких широтах так, что он блокирует нормальное продвижение областей высокого и низкого давления на восток.

Bowen ratio - Коэффициент Боуэна Отношение *явных потоков тепла* с поверхности Земли в *атмосферу* к *скрытым таким потокам*. Значения этого коэффициента для влажных поверхностей, таких как океан, низкие (порядка 0,1), а для пустынь и *засушливых* областей – более 2.

Burden - Нагрузка Общая масса рассматриваемого газообразного вещества в *атмосфере*.

¹³C Стабильный изотоп углерода, атомный вес которого приблизительно равен 13. Измерения соотношения ¹³C/¹²C в молекулах *углекислого газа* используются для получения выводов о важности различных процессов *углеродного цикла* и *климатических* процессов, а также о размере наземного *накопителя* углерода.

¹⁴C Нестабильный изотоп углерода, атомный вес которого приблизительно равен 14, а период полураспада – около 5700 лет. Он часто используется для датирования событий, происходивших около 40 тыс. лет назад. На его изменение во времени влияют магнитные поля Солнца и Земли, которые воздействуют на его образование из космических лучей (см. *Космогенные изотопы*).

C3 plants - C3-растения Растения, которые вырабатывают трехуглеродное соединение в процессе *фотосинтеза*, в том числе большинство деревьев и сельскохозяйственных культур, таких как рис, пшеница, соя, картофель и овощи.

C4 plants - C4-растения Растения, которые вырабатывают четырехуглеродное соединение в процессе *фотосинтеза*, главным образом растения тропического происхождения, включая травы и важные сельскохозяйственные культуры – кукурузу, сахарный тростник, просо и сорго.

Carbonaceous aerosol - Углеродсодержащий аэрозоль *Аэрозоль*, состоящий преимущественно из *органических веществ* и различных форм *технического углерода* (Charlson and Heintzberg, 1995).

Carbon cycle - Углеродный цикл Термин, используемый для описания потока углерода (в различных формах, например, в форме *углекислого газа*) через атмосферу, океан, земную *биосферу* и *литосферу*.

Carbon dioxide (CO₂) - Углекислый газ (CO₂) Газ естественного происхождения, а также побочный продукт сгорания ископаемых видов топлива из ископаемых углеродистых отложений, таких

как нефть, газ и уголь, сгорания *биомассы* и изменений в *землепользовании*, а также других промышленных процессов. Он является основным *антропогенным парниковым газом*, влияющим на радиационный баланс Земли. Это - эталонный газ, по которому измеряются другие парниковые газы, поэтому его *потенциал глобального потепления* равен 1.

Carbon dioxide (CO₂) fertilization – Обогащение атмосферы углекислым газом (CO₂) Ускорение роста растений в результате повышения концентрации *углекислого газа* в атмосфере. Некоторые виды растений, в зависимости от их механизма *фотосинтеза*, более чувствительны к изменению концентрации углекислого газа в атмосфере. В частности, *С3-растения* обычно обнаруживают более сильную реакцию на углекислый газ по сравнению с *С4-растениями*

CFC – ХФУ См. *Галоидоуглеводороды*.

Chaos – Хаос *Динамическая система*, такая как климатическая система, описываемая нелинейными детерминистическими уравнениями (см. *Нелинейность*), может проявлять неустойчивое или хаотическое поведение в том смысле, что очень малые изменения в начальном состоянии системы со временем приводят к значительным и очевидно непредсказуемым изменениям в ее временной эволюции. Такое хаотическое поведение может *ограничивать* предсказуемость нелинейных динамических систем.

Charcoal – Древесный уголь Материал, образующийся при *углежжении* биомассы, обычно частично сохраняющий микроскопическую текстуру, характерную для растительных тканей; химически он состоит, главным образом, из углерода с нарушенной графитовой структурой и содержит кислород и водород в меньших количествах (Charlson and Heintzenberg, 1995, p. 402). См. *Технический углерод; Сажа*.

Chronology – Хронология Расположение событий по датам или времени наступления.

Clathrate (methane) – Клатрат (метан) Частично замерзшая водянистая смесь метана и льда, обычно обнаруживается в отложениях.

Climate - 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. По определению Всемирной метеорологической организации (ВМО), классическим периодом для усреднения этих переменных считается 30 лет. Соответствующими количественными параметрами наиболее часто являются такие приземные переменные, как температура, осадки и ветер. В более широком смысле, климат представляет собой состояние *климатической системы*, в том числе ее статистическое описание. В различных главах настоящего доклада также применяются разные периоды усреднения, например, 20 лет.

Climate change - Изменение климата Изменение *климата* означает изменение состояния климата, которое может быть определено (например, с помощью статистических испытаний) через изменения в среднем значении и (или) изменчивость его свойств и которое сохраняется в течение длительного периода, обычно несколько десятилетий или больше. Изменение климата может быть вызвано естественными внутренними процессами или *внешними воздействиями*, а

также устойчивыми *антропогенными* изменениями в составе *атмосферы* или в *землепользовании*. Следует иметь в виду, что в статье 1 *Рамочной конвенции ООН об изменении климата* (РКИК ООН) *изменение климата* определяется следующим образом: «изменение климата, которое прямо или косвенно обусловлено деятельностью человека, вызывающей изменения в составе глобальной атмосферы, и накладывается на естественные колебания климата, наблюдаемые на протяжении сопоставимых периодов времени». Таким образом, РКИК ООН проводит различие между изменением климата, обусловленным деятельностью человека, изменяющей состав атмосферы, и *изменчивостью климата*, обусловленной естественными причинами. См. также *Изменчивость климата; Обнаружение и объяснение причин наблюдаемых изменений*.

Climate change commitment – Инерция изменения климата Вследствие тепловой инерции океана и медленных процессов в *биосфере, криосфере* и на земной поверхности *климат* продолжал бы меняться даже в том случае, если бы состав атмосферы удерживался бы постоянным на сегодняшнем уровне. Изменения, произошедшие в составе атмосферы в прошлом, подчиняются *инерционизации климата*, которая продолжается столько, сколько сохраняется радиационный дисбаланс, и до тех пор, пока все компоненты *климатической системы* не перестроятся под новое состояние. Дальнейшее изменение температуры после фиксации состава *атмосферы* называется *инерцией повышения температуры при постоянном составе* или просто *инерцией потепления*. Инерция изменения климата определяется и другими будущими изменениями, например, в *гидрологическом цикле*, в экстремальных метеорологических и климатических явлениях, а также в *уровне моря*.

Climate feedback – Климатическая обратная связь Если результат какого-либо первоначального процесса вызывает изменения во втором процессе, который, в свою очередь, воздействует на первоначальный процесс, то такой механизм взаимодействия между процессами, происходящими в *климатической системе*, называется климатической обратной связью. Положительная обратная связь усиливает первоначальный процесс, а отрицательная ослабляет его.

Climate Feedback Parameter – Параметр климатической обратной связи Способ количественного описания радиационной реакции *климатической системы* на изменение *глобальной приземной температуры*, вызванное *радиационным воздействием* (единицы измерения: Вт/м²/°C). Этот параметр изменяется обратно пропорционально эффективной *чувствительности климата*. Формально параметр климатической обратной связи (λ) определяется как $\lambda = (\Delta Q - \Delta F) / \Delta T$, где Q – глобальное среднее радиационное воздействие, T – глобальная средняя температура воздуха на поверхности, F – поток тепла в океан, а Δ означает изменение по отношению к невозмущенному *климату*.

Climate model (spectrum or hierarchy) - Модель климата (спектр или иерархия) Численное описание *климатической системы* на основе физических, химических и биологических свойств ее компонентов, их взаимодействий и процессов *обратной связи*, причем с учетом всех или некоторых ее известных свойств. Климатическая система может быть описана с помощью моделей различной сложности – т.е. для каждого компонента или комбинации компонентов можно найти соответствующий *спектр* или *иерархию* моделей, отличающихся друг от друга в таких аспектах, как число пространственных параметров, степень точности описания физических, химических и биологических процессов или уровень эмпирической

параметризации. Модели общей циркуляции сопряженной системы атмосфера-океан (МОЦАО) дают представление климатической системы, которое по полноте приближается к верхней границе имеющегося на данный момент спектра. Имеет место тенденция к применению более сложных моделей с использованием интерактивной химии и биологии (см. главу 8). Модели климата применяются в качестве инструмента исследования и моделирования климата, а также для оперативных целей, в том числе для месячного, сезонного и межгодового *предсказания климата*.

Climate prediction – Предсказание климата Предсказание *или прогноз климата* представляет собой результат попытки дать оценку фактического изменения *климата* в будущем, например в сезонном, межгодовом или долгосрочном временном масштабе. Поскольку эволюция *климатической системы* в будущем может быть сильно чувствительна к начальным условиям, такие предсказания обычно носят вероятностный характер. См. также *Проекция климата; Сценарий климата; Предсказуемость*.

Climate projection - Проекция климата Проекция реакции *климатической системы* на *сценарии выбросов* или *сценарии концентраций парниковых газов* и аэрозолей либо на сценарии радиационного воздействия, которые часто строятся на принципах моделирования с помощью *моделей климата*. Между проекциями климата и *предсказаниями климата* проводится различие с целью подчеркнуть, что проекции климата зависят от использованного сценария выбросов/концентраций/радиационного воздействия, который строится на допущениях относительно, например, будущего социально-экономического и технологического развития, которое может произойти или не произойти, и в этой связи характеризуется существенной *неопределенностью*.

Climate response – Реакция климата См. *Чувствительность климата*.

Climate scenario - Климатический сценарий Правдоподобное и зачастую упрощенное описание будущего *климата* на основе внутренне согласованного набора климатологических связей, которое построено для непосредственного исследования потенциальных последствий *антропогенного изменения климата*, часто служащих исходными данными для моделирования последствий. В качестве исходного материала для разработки климатических сценариев часто используются *проекция климата*, однако для климатических сценариев требуется, как правило, дополнительная информация, например данные наблюдений за текущим климатом. *Сценарий изменения климата* – это разница между климатическим сценарием и текущим состоянием климата.

Climate sensitivity - Чувствительность климата В докладах МГЭИК *чувствительность климата в равновесном состоянии* означает изменение равновесного состояния среднегодовой глобальной приземной температуры в результате удвоения *концентрации эквивалента углекислого газа* в атмосфере. Вследствие вычислительных ограничений чувствительность климата в равновесном состоянии в *модели климата* обычно оценивается посредством прогона модели атмосферной общей циркуляции, сопряженной с моделью слоя перемешивания океана, потому что чувствительность климата в равновесном состоянии в значительной мере определяется атмосферными процессами. Эффективные модели могут прогоняться до равновесия с динамическим океаном.

Эффективная чувствительность климата представляет собой соответствующую оценку, позволяющую обойти требование равновесия. Она оценивается по результатам моделирования

изменения условий в неравновесном состоянии. Она является измерителем *климатических обратных связей* в конкретный момент времени и может изменяться по мере изменения тенденции внешнего воздействия и состояния *климата*. Параметр чувствительности климата (единицы измерения: °C/(Вт/м²)-1) относится к равновесному изменению средней *глобальной приземной температуры* после единичного *изменения радиационного воздействия*.

Переходная реакция климата – это изменение глобальной приземной температуры, усредненное за период более 20 лет с центром в точке удвоения концентрации углекислого газа в атмосфере, т.е. в 70-м году при эксперименте с повышением концентрации углекислого газа на 1% в год в глобальной сопряженной модели климата. Этот показатель является мерой силы и скорости реакции приземной температуры на воздействие *парниковых газов*.

Climate shift or climate regime shift – Климатический сдвиг или Сдвиг климатического режима Резкий сдвиг или скачок в средних значениях, сигнализирующий об изменении в *режиме*. Наиболее широко этот термин используется в связи с климатическим сдвигом 1976-77 гг., который, как представляется, соответствует изменению в поведении *Эль-Ниньо – Южного колебания*.

Climate system - Климатическая система Климатическая система представляет собой весьма сложную систему, состоящую из пяти важнейших компонентов: *атмосферы, гидросферы, криосферы, поверхности суши и биосферы* и взаимодействий между ними. Климатическая система изменяется во времени под воздействием собственной внутренней динамики и в силу *внешних воздействий*, например, извержения вулканов, колебания режима солнечной радиации и *антропогенных воздействий*, таких как изменение состава атмосферы и *изменения в землепользовании*.

Climate variability - Изменчивость климата Изменчивость климата означает колебания среднего состояния и других статистических параметров (таких, как среднеквадратичные отклонения, наступление экстремальных явлений и т.п.) *климата* во всех *временных и пространственных масштабах*, помимо масштаба отдельных метеорологических явлений. Изменчивость может быть обусловлена естественными внутренними процессами в самой *климатической системе* (*внутренняя изменчивость*) или колебаниями естественного или *антропогенного внешнего воздействия* (*внешняя изменчивость*). См. также *Изменение климата*.

Cloud condensation nuclei (CCN) – Облачные ядра конденсации Содержащиеся в воздухе частицы, служащие исходной точкой для конденсации жидкой воды, что может привести к образованию облачных капель. См. также *Аэрозоли*.

Cloud feedback – Обратная связь облаков *Климатическая обратная связь*, предполагающая изменения в каких-либо свойствах облаков как реакцию в ответ на другие атмосферные изменения. Понимание обратных связей облаков и определение порядка их величины и знака требует понимания того, как изменение *климата* может повлиять на спектр типов облаков, их относительное количество и высоту, радиационные свойства и оценку влияния этих изменений на радиационный баланс Земли. В настоящее время обратные связи облаков остаются наибольшим источником *неопределенности* в оценках *чувствительности климата*. См. также *Радиационное воздействие облаков; Радиационное воздействие*.

Cloud radiative forcing – Радиационное воздействие облаков Разница между радиационным балансом небесного

свода Земли и радиационным балансом Земли при безоблачном небе (единицы: Вт/м²).

CO₂-equivalent – Эквивалент CO₂ См. *Эквивалент углекислого газа*.

Confidence – Достоверность *Степень уверенности* в правильности результата выражается в настоящем докладе с помощью стандартной терминологии, определенной во Вставке 1.1. См. также *Вероятность; Неопределенность*

Convection – Конвекция Вертикальное движение под действием гидростатических сил, возникающих из статической неустойчивости, обычно вызываемой приземным охлаждением или повышением солёности (в случае океана) и приземным потеплением (в случае *атмосферы*). В месте конвекции горизонтальный масштаб приблизительно такой же, как вертикальный, в отличие от *общей циркуляции*, при которой между масштабами имеет место сильное различие. Чистый вертикальный перенос массы обычно намного меньше, чем восходящий и нисходящий обмен.

Cosmogenic isotopes – Космогенные изотопы Редкие изотопы, образуемые при взаимодействии космического луча высокой энергии с ядром *локального* атома. Они часто используются как признаки солнечной магнитной активности (которая может экранировать космические лучи) или как индикаторы атмосферного переноса. Их также называют *космогенными нуклидами*.

Cryosphere - Криосфера Компонент *климатической системы*, состоящий из всего снега, льда и *мерзлого грунта* (в том числе вечной *мерзлоты*) на поверхности Земли и океана и под ней. См. также *Ледник; Ледовый щит*

Dansgaard-Oeschger events – События Дансгаарда-Эшгера Случаи резкого потепления, за которыми следует постепенное похолодание. Резкое потепление и постепенное похолодание наблюдается, в основном, в гренландских *кернах льда* и в *палеоклиматических* данных из близлежащих районов Северной Атлантики, тогда как более общее потепление с последующим постепенным похолоданием наблюдалось и в других районах, в ледниковые периоды с интервалом от 1,5 до 7 тыс. лет.

Deforestation - Обезлесение Превращение леса в нелесные угодья. Анализ 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» (IPCC, 2000). См. также доклад «Определения и методологические варианты составления кадастра выбросов в результате непосредственной антропогенной деградации лесов и исчезновения других типов растительности» (IPCC, 2003).

Desertification - Опустынивание Деградация земель в засушливых, полусушливых и сухих субгумидных районах в результате действия различных факторов, включая климатические колебания и деятельность человека. Кроме того, Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием определяет деградацию земель как снижение или потерю биологической или экономической продуктивности и сложной структуры богарных пахотных земель, орошаемых пахотных земель или пастбищ, *лесов* и лесистых участков в засушливых, полусушливых и сухих субгумидных районах в результате *землепользования* или действия одного или нескольких процессов, в том числе связанных с деятельностью человека и структурами расселения,

таких, как 1) ветровая и (или) водная *эрозия* почв; 2) ухудшение физических, химических и биологических или экономических свойств почв и 3) долгосрочная потеря естественного растительного покрова.

Detection and attribution - Обнаружение и объяснение причин наблюдаемых изменений *Климат* постоянно варьируется во всех *временных масштабах*. *Обнаружение изменения климата* представляет собой процесс подтверждения того, что в некотором определенном статистическом смысле климат изменился, не приписывая такие изменения воздействию того или иного фактора. *Объяснение* причин изменения климата представляет собой процесс определения наиболее вероятных воздействующих факторов обнаруженного изменения с некоторой определенной степенью *достоверности*.

Diatoms – 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 связано с *температурами поверхности* моря за прошлые периоды.

Diurnal temperature range – Диапазон суточных температур Разница между максимальной и минимальной температурами за 24-часовой период.

Dobson unit (DU) – 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 10-5 м, которую имел бы столб озона, если бы он был сжат в слой равномерной плотности при давлении 1,013 гПа и температуре 0°C. Одна ЕД соответствует столбу озона, содержащему 2,69х1,020 молекул на квадратный метр. Типовое значение количества озона в столбе атмосферы Земли – 300 ЕД, однако оно весьма изменчиво.

Downscaling – Уменьшение масштаба Уменьшение масштаба – это метод выведения информации локального и регионального масштаба (от 10 до 100 км) из более крупномасштабных моделей или анализа более крупномасштабных данных. Различают два основных метода: *динамическое уменьшение масштаба* и *эмпирическое/статистическое уменьшение масштаба*. При динамическом методе используются выходные данные региональных *моделей климата*, глобальных моделей с переменным пространственным разрешением или глобальных моделей с высоким разрешением. При эмпирических/статистических методах разрабатываются статистические зависимости, которые связывают крупномасштабные атмосферные переменные с местными/региональными переменными климата. Во всех случаях качество результата, полученного путем уменьшения масштаба, зависит от качества базовой модели.

Drought - Засуха В общих чертах засуха – это «длительное отсутствие или заметный дефицит осадков», «дефицит, который приводит к нехватке воды для какого-либо вида деятельности или какой-либо группы», или «период аномально сухой погоды, достаточно длительный для того, чтобы отсутствие осадков вызвало серьезный гидрологический дисбаланс» (Heim, 2002). Есть несколько разновидностей засухи. *Сельскохозяйственная засуха* означает влияющий на урожай дефицит влаги в верхнем, толщиной около метра, слое почвы (корнеобитаемом слое), *метеорологическая засуха* – это, в основном, длительный дефицит осадков, а гидрологическая засуха предполагает падение уровня руслового речного стока, озер и грунтовых вод ниже нормальной отметки. *Мегазасуха* – это продолжительная и

повсеместная засуха, которая длится гораздо больше обычного, как правило, десять и более лет. Дополнительную информацию см. во Вставке 3.1.

Dynamical system – Динамическая система Процесс или совокупность процессов, эволюция которых во времени определяется набором детерминированных физических законов. *Климатическая система* является динамической системой. См. *Резкое изменение климата; Хаос; Нелинейность; Предсказуемость*.

Ecosystem - Экосистема Система живых организмов, взаимодействующих друг с другом, и их физическая среда обитания. Границы того, что можно назвать экосистемой, несколько произвольны и зависят от придаваемого ей значения или цели исследования. Таким образом, размеры экосистемы могут варьироваться от очень небольших пространственных масштабов до, в конечном итоге, всей Земли.

Efficacy – Эффективность Мера того, насколько эффективно *радиационное воздействие* данного *антропогенного* или естественного механизма в изменении равновесной *глобальной приземной температуры* по сравнению с эквивалентным *радиационным воздействием углекислого газа*. Повышение концентрации углекислого газа по определению имеет эффективность 1,0.

Ekman pumping – Накачивание Экмана Сила трения на поверхности между двумя текучими средами (*атмосферой* и океаном) или между текучей средой и смежной с ней твердой поверхностью (поверхностью Земли) вызывает циркуляцию. Если результирующий перенос массы – сходящийся, 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.

Ekman transport – Перенос Экмана Общий перенос в результате баланса между силой Кориолиса и напряжением трения вследствие действия ветра на поверхности океана. См. также *Накачивание Экмана*.

El Niño-Southern Oscillation (ENSO) - Эль-Ниньо - Южное колебание (ЭНСО) Термин *Эль-Ниньо* в своем изначальном смысле использовался для описания тепловодного 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 океанское 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 двух до около семи лет, собирает хорошо известно под названием Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНСО). Его часто измеряют разницей аномалий приземного давления между Дарвином и Таити, а также *температурой поверхности моря* в центральной и восточной экваториальных частях Тихого океана. Во время явления ЭНСО преобладающие пассаты слабеют, уменьшая апвеллинг и изменяя океанические течения, поэтому температура поверхности моря повышается, еще более 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 дальних корреляционных связей. Холодная фаза ЭНСО называется *Ла-Нинья*.

Emission scenario - Сценарий выбросов Правдоподобное описание будущего изменения режима выбросов веществ, которые потенциально являются радиационно активными (например *парниковых газов, аэрозолей*), 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 *модели климата* для расчета *проекций климата*. В 1992 году МГЭИК представила набор сценариев выбросов, которые стали основой для проекций климата в докладе МГЭИК за 1996 год. Эти сценарии выбросов называются сценариями IS92. В Специальном докладе МГЭИК о сценариях выбросов (Nakićenović and Swart, 2000) были опубликованы новые сценарии выбросов, так называемые сценарии СДСВ. Некоторые из них были использованы в качестве основы для проекций климата, представленных в главах 9-11 доклада МГЭИК от 2001 г. и главах 10-11 настоящего доклада. Значение некоторых терминов, относящихся к этим сценариям, см. в *Сценариях СДСВ*.

Energy balance - 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 периоды времени, этот баланс должен равняться нулю. Поскольку *климатическая система* получает практически всю свою энергию от Солнца, то нулевой баланс предполагает, что в глобальном плане количество поступающей *солнечной радиации* должно в среднем равняться суммарному количеству исходящей отраженной солнечной радиации и исходящего *теплового инфракрасного излучения*, испускаемого климатической системой. Нарушение этого глобального баланса излучения независимо от его характера – *антропогенного* или естественного – называется *радиационным воздействием*.

Ensemble – Ансамбль Группа параллельных модельных экспериментов, используемых для получения *проекций климата*. Вариация результатов по членам ансамбля дает оценку *неопределенности*. Ансамбли, составленные в одной модели, но с разными начальными условиями, характеризуют только неопределенность, связанную с внутренней *изменчивостью климата*, тогда как многомодельные ансамбли, предполагающие эксперименты с несколькими моделями, учитывают также влияние различий между моделями. Ансамбли с возмущенными параметрами, в которых параметры моделей систематически варьируются, имеют целью получение более объективной оценки неопределенности моделирования, чем возможно в традиционных многомодельных ансамблях.

Equilibrium and transient climate experiment - Эксперимент с равновесными переходным состоянием климата *Эксперимент с равновесным состоянием климата* представляет собой эксперимент, в ходе которого модель климата 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 моделью предусматривается постепенное изменение внешнего воздействия в соответствии с заданным *сценарием выбросов*, то в этом случае возможен анализ закономерности реагирования климатической модели во времени. Такой эксперимент

называется *экспериментом с переходным состоянием климата*. См. также *Проекция климата*.

Equilibrium line – Линия равновесия Граница между областью на *леднике*, где имеет место чистая годовая убыль массы льда (зоной абляции), и областью, где имеет место чистый годовой прирост (зоной накопления). Высоту этой границы называют *высотой зоны равновесия*.

Equivalent carbon dioxide (CO₂) concentration – Эквивалентная концентрация углекислого газа (CO₂) Концентрация *углекислого газа*, которая вызвала бы такой же уровень *радиационного* воздействия, что и данная смесь углекислого газа с другими *парниковыми газами*.

Equivalent carbon dioxide (CO₂) emission – Эквивалентный выброс углекислого газа (CO₂) Объем выброса *углекислого газа*, который вызвал бы такое же комплексное *радиационное воздействие* за данный период времени, как и объем выброса идеально перемешанного *парникового газа* или смеси идеально перемешанных парниковых газов. Эквивалентный выброс углекислого газа получают путем умножения объема выброса идеально перемешанного парникового газа на его *потенциал глобального потепления* за данный период времени. Для смеси парниковых газов его получают путем суммирования эквивалентных выбросов углекислого газа по каждому газу смеси. Эквивалентный выброс углекислого газа – стандартная и полезная *мера* сравнения выбросов разных парниковых газов, однако она не означает полную эквивалентность соответствующих реакций *изменения климата* (см. раздел 2.10).

Evapotranspiration – Эвапотранспирация Комбинированный процесс испарения с поверхности Земли и транспирации растительности

External forcing - Внешнее воздействие Внешнее воздействие относится к действующему фактору вне *климатической системы*, вызывающему изменение в климатической системе. К внешним воздействиям относятся извержения вулканов, солнечные вариации и *антропогенные* изменения в составе *атмосферы* и *землепользовании*.

Extreme weather event - Экстремальное метеорологическое явление Экстремальное метеорологическое явление представляет собой событие, редкое в конкретном месте и в конкретное время года. Определение термина «редкое» варьируется, однако экстремальное метеорологическое явление обычно бывает таким же редким, как 10-й или 90-й *процентиль* наблюдаемой *функции распределения вероятностей*, или реже. По определению, характеристики того, что называют *экстремальной погодой*, в абсолютном смысле могут варьироваться в зависимости от конкретного места. Одиночные экстремальные явления не могут быть просто и непосредственно объяснены *антропогенным* изменением климата, поскольку всегда есть конечный шанс на то, что данное явление, возможно, произошло естественным путем. Если характер экстремальной погоды сохраняется некоторое время, например, в течение времени года, его можно классифицировать как *экстремальное климатическое явление*, особенно если оно дает среднее или общее значение, которое само является экстремальным (например, *засуха* или сильные дождевые осадки в течение времени года).

Faculae – Факелы Яркие участки на Солнце. Зона, покрытая факелами, увеличивается в периоды высокой *солнечной активности*

Feedback - Обратная связь См. *Климатическая обратная связь*.

Fingerprint – Отпечаток Так обычно называют характер реакции *климата* в пространстве и (или) времени на конкретное воздействие. Отпечатки используются для выявления наличия этой реакции в наблюдениях и обычно оцениваются с помощью принудительного моделирования климата.

Flux adjustment - Корректировка потока Во избежание проблемы сдвига моделей общей циркуляции сопряженной системы *атмосфера-океан* (МОЦАО) к некоему нереальному состоянию *климата*, к потокам тепла и влаги в системе «атмосфера-океан» (а иногда и к поверхностным напряжениям, вызванным ветровым воздействием на поверхность океана) могут применяться – до включения характеристик этих потоков в модель океана и атмосферы – соответствующие методы корректировки. Поскольку эти коэффициенты корректировки рассчитываются заранее и поэтому не имеют отношения к интегрированию сопряженной системы модели, они не коррелируются с аномалиями, которые развиваются в процессе интегрирования. В главе 8 настоящего доклада сделан вывод о том, что в большинстве используемых в нем моделей (МОЦАО Четвертого доклада об оценках) корректировка потока не используется и что, вообще говоря, она применяется все в меньшем количестве моделей.

Forest – Лес Тип растительности, в котором господствующий ярус образован деревьями. В мире существует множество определений термина *лес*, отражающих широкое разнообразие биогеофизических условий, социальной структуры и экономики. Анализ 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” (IPCC, 2000). См. также доклад «Определения и методологические варианты составления кадастра выбросов в результате непосредственной антропогенной деградации лесов и исчезновения других типов растительности» (IPCC, 2003).

Fossil fuel emissions – Выбросы, обусловленные ископаемым топливом Выбросы *парниковых газов* (в частности, *углекислого газа*) в результате сжигания топлива, добытого из залежей ископаемого углеродного топлива, например нефти, природного газа и угля.

Framework Convention on Climate Change – Рамочная конвенция об изменении климата См. *Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН)*.

Free atmosphere – Свободная атмосфера

Атмосферный слой, влияние трения о поверхность Земли на который ничтожно мало и который находится над *пограничным слоем атмосферы*.

Frozen ground – Мерзлый грунт Почва или порода, в которой часть *внутрипоровой воды* или вся эта вода находится в замерзшем состоянии (Van Everdingen, 1998). Мерзлый грунт включает *вечную мерзлоту*. Грунт, который замерзает и оттаивает ежегодно, называют *сезонномерзлым грунтом*.

General circulation - Общая циркуляция Крупномасштабные перемещения воздушных масс *атмосферы* и вод океана вследствие различий в режиме нагревания в процессе вращения Земли в целях восстановления *энергетического баланса* всей системы за счет переноса тепла и количества движения..

General Circulation Model (GCM) - Модель общей циркуляции (МОЦ) См. *Модель климата*.

Geoid - Геоид Эквипотенциальная поверхность (т.е. имеющая в каждой точке одинаковый гравитационный потенциал), которая наилучшим образом соответствует среднему уровню моря (см. *относительный уровень моря*) в отсутствие астрономических приливов; океанической циркуляции; гидрологических, криосферных и атмосферных эффектов; вариаций вращения Земли и движения полюсов; нутации и прецессии; тектоники и других эффектов, таких как *последниковое повышение*. Геоид носит глобальный характер и охватывает континенты, океаны и *ледовые щиты*; в настоящее время он включает эффект постоянных приливов (гравитационный эффект нулевой частоты Солнца и Луны). Геоид – поверхность отсчета для астрономических наблюдений, геодезического нивелирования, океанических, гидрологических, гляциологических и климатических моделей. На практике существует ряд разных рабочих определений геоида, в зависимости от метода моделирования вышеупомянутых изменяющихся во времени эффектов.

Geostrophic winds or currents – Геоострофические ветры или течения Ветер или течение, находящиеся в равновесии с горизонтальным градиентом давления и силой Кориолиса и поэтому не попадающие под влияние трения. Таким образом, данный ветер или течение прямо параллельны изобарам, а их сила обратно пропорциональна интервалу изобарических контуров.

Glacial isostatic adjustment – Ледниковая изостатическая коррективка См. *Последниковое повышение*.

Glacier - Ледник Масса наземного льда, движущаяся вниз по склону под действием силы тяготения (в результате внутренней деформации и (или) скольжения в области основания) и ограниченная внутренним напряжением и трением в основании и по бокам. Ледник поддерживается за счет накопления снежной массы на больших высотах, уравновешиваемой за счет подтаивания на малых высотах или схода в море. См. *Линия равновесия; Баланс массы*.

Global dimming – Глобальное потускнение Глобальное потускнение означает осязаемое повсеместное уменьшение *солнечной радиации*, поступающей на поверхность Земли, которое началось приблизительно с 1961 года и закончилось около 1990 года.

Global surface temperature - Глобальная приземная температура Глобальная приземная температура представляет собой оценку глобальной средней приземной температуры воздуха. Однако для изменений во времени используются только аномалии, как отклонения от климатологии, основанные в большинстве случаев на взвешенной по площади глобальной средней величине аномалии *температуры поверхности моря* и аномалии приземной *температуры воздуха*.

Global Warming Potential (GWP) - Потенциал глобального потепления (ППП) Показатель, основанный на радиационных свойствах идеально перемешанных *парниковых газов*, которым измеряется *радиационное воздействие* единицы массы данного идеально перемешанного парникового газа в нынешней *атмосфере*, интегрированное по выбранному временному горизонту, относительно воздействия *углекислого газа*. ППП отражает комбинированный эффект разного времени нахождения этих газов в атмосфере и их относительной эффективности поглощения исходящего *теплового инфракрасного излучения*.

Киотский протокол основан на ППП импульсных выбросов за столетний интервал времени.

Greenhouse effect - Парниковый эффект *ГПарниковые газы* эффективно поглощают *тепловое инфракрасное излучение*, испускаемое поверхностью Земли, самой *атмосферой*, что обусловлено теми же парниковыми газами, и облаками. Атмосферная радиация излучается во все стороны, в том числе и по направлению к поверхности Земли. Вследствие этого парниковые газы поглощают тепло, которое содержится в системе “поверхность-тропосфера”. Этот процесс называется *парниковым эффектом*. Тепловая инфракрасная радиация в тропосфере сильно зависит от температуры на той высоте, на которой она излучается. В тропосфере температура, как правило, снижается с увеличением высоты. Фактически, инфракрасное излучение испускается в космическое пространство на высоте, на которой температура составляет в среднем – 19°C, и уравнивает чистую поступающую *солнечную радиацию*, тогда как температура на поверхности Земли гораздо выше, в среднем +14°C. Повышение концентрации парниковых газов ведет к увеличению непроницаемости атмосферы для инфракрасных лучей и, как следствие, к эффективному излучению в космос начиная с большей высоты при более низкой температуре. Это вызывает *радиационное воздействие*, которое приводит к усилению парникового эффекта – так называемому *усиленному парниковому эффекту*.

Greenhouse gas (GHG) - Парниковый газ

К парниковым газам относятся те газовые составляющие *атмосферы*, как естественного, так и *антропогенного* происхождения, которые поглощают и излучают волны определенной длины в диапазоне *теплового инфракрасного излучения*, испускаемого поверхностью Земли, самой атмосферой и облаками. Это свойство порождает *парниковый эффект*. Основные парниковые газы в атмосфере Земли – водяной пар (H₂O), *углекислый газ* (CO₂), закись азота (N₂O), метан (CH₄) и *озон* (O₃). Кроме того, в атмосфере содержится еще целый ряд парниковых газов полностью антропогенного происхождения, такие, как *галогидроуглероды* и другие хлор- и бромсодержащие вещества, подпадающие под действие *Монреальского протокола*. Помимо CO₂, N₂O, и CH₄, под действие *Киотского протокола* подпадают такие парниковые газы, как шестифтористая сера (SF₆), гидрофторуглероды (ГФУ) и перфторуглероды (ПФУ).

Gross Primary Production (GPP) - Валовая первичная продукция (ВПП) Количество энергии, полученной из *атмосферы* путем *фотосинтеза*.

Ground ice – Подземный лед Общий термин, обозначающий все типы льда, содержащиеся в замерзающих и *сезонномерзлых грунтах* и *вечной мерзлоте* (Van Everdingen, 1998).

Ground temperature – Температура грунта Температура грунта около поверхности (часто в первых 10 см). Ее часто называют температурой почвы.

Grounding line/zone - Линия (зона) налегания Стык между *ледником* или *ледовым щитом* и *шельфовым ледником*; место, где лед начинает плыть.

Gyre – Кружение Горизонтальный тип циркуляции бассейнового масштаба, при которой медленный поток циркулирует вокруг бассейна океана, с западной стороны отделенного сильной и узкой границей (шириной 100-200 км). Субтропические кружения в каждом океане связаны с высоким давлением в центре кружений; приполярные кружения связаны с низким давлением.

Hadley Circulation – Циркуляция Гадлея Непосредственная, с тепловым приводом опрокидывающая ячейка в *атмосфере*, состоящая из направленного к полюсам потока в верхних слоях *тропосферы*, стихающего ветра в субтропических антициклонах, обратного потока в составе пассатов вблизи поверхности и усиливающегося ветра вблизи экватора в так называемой *Внутритропической зоне конвергенции*.

Halocarbons - Галоидоуглеводороды Собираемый термин для группы частично галогенизированных органических видов, включая хлорфторуглероды (ХФУ), гидрохлорфторуглероды (ГХФУ), гидрофторуглероды (ГФУ), галоны, метилхлорид, метилбромид и др. Многие из галоидоуглеводородов обладают большим *потенциалом глобального потепления*. Хлор- и бромсодержащие галоидоуглеводороды также относятся к категории веществ, разрушающих *озоновый слой*.

Halosteric – Галостерический См. *Изменение уровня моря*.

HCFC – ГФХУ См. *Галоидоуглеводороды*.

HFC – ГФУ См. *Галоидоуглеводороды*.

Heterotrophic respiration – Гетеротрофное дыхание Преобразование органического вещества в *углекислый газ* организмами, не являющимися растениями.

Holocene – Голоцен Геологический период, последний из двух четвертичных периодов, который начался около 11,6 тыс. лет назад и продолжается в настоящее время

Hydrosphere - Гидросфера ТКомпонент *климатической системы*, состоящий из поверхностных и подземных вод в жидком состоянии, таких, как океаны, моря, реки, пресноводные озера, грунтовые воды и т.д.

Ice age – Ледниковый период Ледниковый период характеризуется долговременным понижением температуры *климата* Земли, что приводит к росту континентальных *ледовых щитов* и горных *ледников (оледенению)*.

Ice cap - Ледяная шапка Куполообразная масса льда, обычно покрывающая высокогорный участок, которая по своим размерам значительно меньше *ледяного щита*.

Ice core – Керн льда Ледяной цилиндр, выбуренный из *ледника* или *ледового щита*.

Ice sheet - Ледовый щит Масса материкового льда, достаточно глубокая для покрытия большей части рельефа коренной подстилающей породы с тем, чтобы его форма определялась, главным образом, его динамикой (потоком льда по мере его внутреннего деформирования и (или) скольжения по основанию). Ледовый 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 три больших ледовых щита: один в Гренландии и два в Антарктиде – Восточный и Западный Антарктические ледовые щиты, разделенные Трансантарктическими горами. В ледниковые периоды были и другие ледовые щиты.

Ice shelf - Шельфовый ледник Плавающая ледовая плита значительной толщины, простирающаяся от берега (обычно большой протяженности по горизонтали с ровной или слегка наклонной поверхностью), часто заполняющая заливы в

береговой линии *ледовых щитов*. Почти все шельфовые ледники находятся в Антарктиде, где большая часть льда, сбрасываемого в море, попадает на шельфовые ледники

Ice stream – Ледяной поток Поток льда, движущийся быстрее, чем окружающий его *ледовый щит*. Его можно рассматривать как *ледник*, текущий между стенками, состоящими не из породы, а из медленнее движущегося льда.

Indirect aerosol effect - Косвенное воздействие аэрозолей *Аэрозоли* могут являться причиной косвенного *радиационного воздействия на климатическую систему*, выполняя функцию *облачных ядер конденсации* или изменяя *оптические свойства и время жизни облаков*. Различают два вида *косвенного воздействия*:

- **Эффект альbedo облаков** - радиационное воздействие, обусловленное повышением содержания аэрозолей *антропогенного* происхождения, которые являются причиной изначального увеличения концентрации капелек с фиксированным содержанием воды в жидкой фазе и уменьшения их размеров, что ведет к увеличению *альbedo* облаков. Этот эффект также известен под названием *первого косвенного эффекта* или *эффекта Туми*.

- **Эффект времени жизни облаков** - воздействие, обусловленное повышением содержания аэрозолей антропогенного происхождения, которые являются причиной уменьшения капелек, что снижает эффективность выпадения осадков и тем самым изменяет содержание воды в жидкой фазе, толщину облачного покрова и время жизни облаков. Этот эффект также известен как *второй косвенный эффект* или *эффект Альбрехта*.

- Помимо этих косвенных воздействий, аэрозоли могут оказывать полупрямое воздействие. Речь идет о поглощении солнечной радиации поглощающими аэрозолями, что приводит к нагреву воздуха и стремлению к повышению статической устойчивости по отношению к поверхности. Это также может вызвать испарение облачных капель.

Industrial revolution - Промышленная революция Процесс быстрого промышленного развития с далеко идущими социальными и экономическими последствиями, который начался во второй половине восемнадцатого века в Великобритании, потом распространился на Европу, а впоследствии и на другие страны, включая США. Сильный толчок этому процессу развития дало изобретение парового двигателя. Промышленная революция положила начало быстрому росту использования ископаемого топлива и увеличению выбросов, в частности, ископаемого *углекислого газа*. В настоящем докладе термины *доиндустриальный* и *индустриальный* относятся, в какой-то мере произвольно, к периодам времени до 1750 года и после 1750 года соответственно.

Infrared radiation – Инфракрасное излучение См. *Тепловое инфракрасное излучение*.

Insolation - Инсоляция Количество *солнечной радиации*, достигающей Земли, по широте и по времени года. Обычно *инсоляция* обозначает радиацию, поступающую в верхние слои *атмосферы*. Иногда ее указывают как количество прямой солнечной радиации, падающей на единицу поверхности Земли. См. также *Общий поток солнечного излучения на единицу площади*.

Interglacials – Межледниковья Теплые периоды между оледенениями, имевшими место в *ледниковые периоды*.

Предыдущее межледниковье, датируемое периодом приблизительно от 129 до 116 тыс. лет назад, называют *последним межледниковьем* (AMS, 2000).

Internal variability – Внутренняя изменчивость См. *Изменчивость климата*.

Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ) – Внутритропическая зона конвергенции (ВЗК) Экваториальный зональный пояс низкого давления вблизи экватора, где северо-восточные пассаты встречаются с юго-восточными. Когда эти ветра сходятся, влажный воздух выдавливается вверх, что приводит к образованию полосы сильных осадков. Эта полоса перемещается сезонно.

Isostatic or Isostasy – Изостатический или изостазия Изостазия означает форму вязкоупругой реакции *литосферы* и мантии на изменения поверхностной нагрузки. Когда нагрузка на литосферу и (или) на мантию меняется в результате изменения массы наземного льда, массы океана, отложения осадков, эрозии или рельефообразования, происходит изостатическое выравнивание по вертикали для уравнивания новой нагрузки

Kyoto Protocol - Киотский протокол Киотский протокол к *Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата* (РКИК ООН) был принят на третьей сессии Конференции Сторон (КС) РКИК ООН в 1997 г. в Киото (Япония). Он содержит подлежащие соблюдению юридические обязательства, в дополнение к тем, которые содержатся в РКИК ООН. 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 (двуокись углерода, метан, закись азота, гидрофторуглероды, перфторуглероды и шестифтористая сера)* не менее чем на 5% ниже уровней 1990 г. в течение периода действия обязательств с 2008 по 2012 год. Киотский протокол вступил в силу 16 февраля 2005 года.

Land use and Land use change – 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 (это, например, организация пастбищного хозяйства, заготовка лесоматериалов, 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 Специальный доклад МГЭИК «Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство» (IPCC, 2000).

La Niña – Ла-Нинья См. *Эль-Ниньо – Южное колебание*.

Land surface air temperature – Приземная температура воздуха Приземная температура воздуха измеряется в хорошо вентилируемых будках на высоте 1,5 м от земли.

Lapse rate – Вертикальный градиент Скорость изменения атмосферной переменной, обычно температуры, с высотой. Вертикальный градиент считается положительным, если переменная с высотой уменьшается.

Last Glacial Maximum (LGM) - Последний ледниковый максимум (ПЛМ) Время, когда площадь *ледовых щитов* была максимальной, в период последнего оледенения, приблизительно 21 тыс. лет назад. Это период широко изучен, потому что *радиационные воздействия* и граничные условия относительно хорошо известны и потому что глобальное похолодание в тот период сравнимо с потеплением, прогнозируемым на 21-й век.

Last Interglacial (LIG) – Последнее межледниковье (ПМ) См. *Межледниковья*.

Latent heat flux – Скрытый поток тепла Поток тепла с поверхности Земли в *атмосферу*, связанный с испарением или конденсацией водяного пара на поверхности; компонент поверхностного энергетического баланса.

Level of Scientific Understanding (LOSU) - Уровень научного понимания (УНП) Показатель, характеризующий степень научного понимания факторов *радиационного воздействия*, которые влияют на *изменение климата*. Определяется по 5-ступенчатой шкале (высокий, средний, средне-низкий, низкий, очень низкий). Для каждого фактора этот показатель представляет собой субъективное суждение о наличии физических и химических механизмов, определяющих воздействие, и о согласии в отношении количественной оценки и ее *неопределенности*.

Lifetime - Время жизни Время жизни является общим термином, используемым для различных временных масштабов, который характеризует скорость процессов, воздействующих на концентрации газов, содержащихся в следовых количествах. Различаются следующие определения времени жизни:

- *время круговорота (T)* (или *время жизни в глобальной атмосфере*) представляет собой соотношение между массой *M накопителя* (например, какого-либо газообразного соединения в *атмосфере*) и общей скоростью его удаления *S* из накопителя: $T = M/S$. Для каждого процесса удаления можно определить свое время жизни. В биологии почвенного углерода это называется *средним временем пребывания*;

- *время трансформации*, или *время реакции (Ta)* представляет собой временной масштаб, характеризующий затухание мгновенного импульса, поступившего в накопитель. Термин «время трансформации» также используется для описания изменения массы накопителя после ступенчатого изменения мощности *источника*. Для количественного определения экспоненциального процесса разложения первого порядка используется *постоянная полураспада* или *распада*. Другое определение, относящееся к колебаниям *климата*, см. в *определении времени реакции*.

Для простоты иногда вместо “времени трансформации” используется термин “время жизни”.

В простых случаях, когда полное удаление соединения прямо пропорционально общей массе накопителя, время трансформационно времени круговорота: $T = Ta$. Одним из примеров является *XФУ-11*, который удаляется из *атмосферы* только в результате фотохимических процессов в *стратосфере*. В более сложных случаях, когда в процессе участвует несколько

накопителей или когда удаление не пропорционально общей массе, равенство $T = T_a$ больше не соблюдается. Крайний случай – *углекислый газ*. Время его круговорота составляет всего около 4 лет в силу быстрого процесса обмена между атмосферой и океаном и земной биотой. Однако по прошествии нескольких лет большая часть CO_2 возвращается в атмосферу. Таким образом, время трансформации CO_2 в атмосфере фактически определяется скоростью удаления углерода из поверхностного слоя океанов и его перемещения в более глубокие слои. Хотя время трансформации CO_2 в атмосфере может составлять приблизительно 100 лет, фактическая трансформация происходит быстрее на начальном этапе и медленнее на последующих этапах. В случае метана (CH_4) время трансформации отличается от времени круговорота, поскольку удаление происходит только за счет химической реакции с радикалом гидроксильной группы OH, концентрация которого сама зависит от концентрации CH_4 . Поэтому скорость удаления метана S не пропорциональна его общей массе M .

Likelihood – Вероятность Вероятность наступления события, исхода или результата, если ее можно оценить вероятностно, выражается в настоящем докладе с помощью стандартной терминологии, приведенной во Вставке 1.1. См. также *Неопределенность; Уверенность*.

Lithosphere - Литосфера Верхний слой твердой оболочки Земли – как континентальной, так и морского дна, – который состоит из всех горных пород, образующих земную кору, и холодной, в основном эластичной, части верхней мантии. Вулканическая активность, хотя она также относится к литосфере, частью *климатической системы* не считается, однако действует в качестве одного из факторов *внешнего воздействия*. См. *Изостатический*.

Little Ice Age (LIA) – Малый ледниковый период (МЛП) Промежуток приблизительно между 1400 и 1900 гг., в котором температуры в северном полушарии были, как правило, более низкими, чем сейчас, особенно в Европе.

Mass balance (of glaciers, ice caps or ice sheets) – Баланс массы (ледников, ледяных шапок и ледовых щитов) ТБаланс между накоплением массы ледяного образования (вследствие нарастания льда) и потерей массы (из-за абляции и откалывания айсбергов). Используется следующая терминология:

Удельный баланс массы: чистая потеря или увеличение массы за гидрологический цикл в точке на поверхности *ледника*.

Полный баланс массы (ледника): удельный баланс массы, пространственно интегрированный по всей площади ледника; общая масса, которую ледник набирает или теряет за гидрологический цикл.

Средний удельный баланс массы: полный баланс массы на единицу площади ледника. Если задана *поверхность (удельный поверхностный баланс массы)*, то влияние движения льда не учитывается; в противном случае баланс массы включает объем движения льда и откалывания айсбергов. Удельный поверхностный баланс массы в области нарастания льда положительный, а в области абляции – отрицательный.

Mean sea level – Средний уровень моря См. *Относительный уровень моря*.

Medieval Warm Period (MWP) – Средневековый период потепления (СПП) Промежуток между 1000 и 1300 годами, в который в некоторых *регионах* северного полушария было теплее, чем в *малый ледниковый период*, последовавший за СПП.

Meridional Overturning Circulation (MOC) - Меридиональная опрокидывающая циркуляция (МОЦ) Меридиональная (север-юг) опрокидывающая циркуляция в океане, количественно определяемая зональными (восток-запад) суммами переносов масс в глубинных слоях или слоях скачка плотности. В Северной Атлантике, вдали от субполярных *регионов*, МОЦ (которая, в принципе, является наблюдаемым количественным параметром) часто идентифицируют с *термохалинной циркуляцией (ТХЦ)*, которая является концептуальным толкованием. Следует помнить, однако, что МОЦ может включать и более мелкие, приводимые в движение ветром опрокидывающие ячейки, например, такие, которые встречаются в верхних слоях океана в тропиках и субтропиках, где теплые (легкие) воды, движущиеся в сторону полюсов, преобразуются в несколько более плотные воды, а на более глубоких уровнях *пододвигаются* в сторону экватора.

Metadata - 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.

Metric – Система показателей Согласованное измерение характеристики объекта или вида деятельности, который иным образом количественно описать сложно.

Mitigation - Смягчение последствий Вмешательство человека в целях сокращения *источников* или расширения *поглотителей парниковых газов*.

Mixing ratio – Состав смеси См. *Мольный состав*.

Model hierarchy – Иерархия моделей См. *Модель климата* (спектр или иерархия).

Modes of climate variability – Режимы изменчивости климата Естественная изменчивость *климатической системы*, в частности, в сезонном и более длительных временных масштабах, имеет место, главным образом, с преимущественными пространственными режимами и временными масштабами, через динамические характеристики атмосферной циркуляции и через взаимодействия с поверхностью суши и океана. Такие режимы часто называют *моделями, формами* или *дальними корреляционными связями*. Примеры: *Северо-Атлантическое колебание (САК)*, *Тихоокеанско-Североамериканская модель (ТСА)*, *Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНСО)*, *Северный кольцевой режим (СКР)*; раньше назывался Арктическим колебанием, или АК), *Южный кольцевой режим (ЮКР)*; раньше назывался Антарктическим колебанием, или ААК). Многие из основных режимов изменчивости климата рассматриваются в разделе 3.6. См. также *Модели изменчивости климата*.

Mole fraction - Мольный состав Мольный состав, или *состав смеси*, представляет собой отношение числа молей определенного компонента в данном объеме к общему числу молей всех компонентов в этом объеме. Он обычно указывается для чистого воздуха. Типичные значения долгоживущих парниковых газов составляют порядка мкмоль/моль (частей на миллион: млн.-1, *ppm*) нмоль/моль (частей на миллиард: млрд. -1, *ppb*) и фмоль/моль (частей на триллион: трлн. -1, *ppt*). Мольный состав отличается от *состава смеси*, который зачастую выражается в млн.–1 по объему и т.п., на величину поправок на неидеальность газов. Эти поправки имеют важное значение для точности измерений в случае многих парниковых газов (Schwartz and Warneck, 1995).

Monsoon - Муссон Тропическое и субтропическое сезонное изменение как поверхностных ветров, так и связанных с ними осадков, вызванное перепадом температуры между сушей континентального масштаба и прилегающим к ней океаном. Муссонные дожди идут главным образом над сушей летом.

Montreal Protocol - Монреальский протокол Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой, был принят в Монреале в 1987 году. Впоследствии в него были внесены исправления и изменения в Лондоне (в 1990 г.), Копенгагене (в 1992 г.), Вене (в 1995 г.), Монреале (в 1997 г.) и Пекине (в 1999 г.). Он регулирует потребление и производство хлор- и бромсодержащих химических веществ, разрушающих озоновый слой, таких, как хлорфторуглероды (ХФУ), метилхлороформ, четыреххлористый углерод и многие другие.

Microwave Sounding Unit (MSU) - Оборудование микроволнового зондирования (МСЮ) Спутниковый сверхвысокочастотный зонд, который оценивает температуру толстых слоев *атмосферы* путем измерения тепловой эмиссии молекул кислорода, используя комплекс линий спектра излучения в диапазоне около 60 ГГц. Система из девяти МСЮ начала производить такие изменения в конце 1978 года. С середины 1998 года в эксплуатацию был введена следующая серия приборов – усовершенствованное оборудование микроволнового зондирования (АМСУ-Б).

MSU – МСЮ См. *Оборудование микроволнового зондирования*.

Nonlinearity - 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. Такая сложность может привести к *резкому изменению климата*. См. также *Хаос; Предсказуемость*.

North Atlantic Oscillation (NAO) - Северо-Атлантическое колебание (САК) Северо-атлантическое 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 циклонов с соответствующими фронтальными системами. См. индекс САК, вставка 3.4.

Northern Annular Mode (NAM) - Северный кольцевой режим (СКР) Зимняя флуктуация амплитуды режима, характеризуемого низким приземным давлением в Арктике и сильными западными ветрами в средних широтах. СКР связан с северным околполярным вихрем в *стратосфере*. Его характер отличается смещением в Северную Атлантику и сильно коррелирует с *Северо-Атлантическим колебанием*. См. индекс СКР, Вставка 3.4.

Ocean acidification – Окисление океана Понижение *pH* морской воды вследствие поглощения антропогенного *углекислого газа*.

Ocean heat uptake efficiency – Эффективность поглощения тепла океаном Мера ($\text{Вт}/\text{м}^{-2}\text{C}^{-1}$) скорости, с которой усиливается аккумуляция тепла глобальным океаном по мере повышения глобальной приземной температуры. Это полезный параметр для экспериментов по *изменению климата*, в которых *радиационное воздействие* изменяется монотонно, когда его можно сравнить с параметром чувствительности климата для измерения относительной важности реакции климата и поглощения тепла океаном при определении

скорости изменения климата. Этот параметр можно оценить путем проведения эксперимента с повышением концентрации *углекислого газа* в атмосфере со скоростью 1% в год как отношение глобального среднего чистого нисходящего радиационного потока в верхних слоях *атмосферы* к *переходной реакции климата* (см. *чувствительность климата*).

Organic aerosol – Органический аэрозоль Частицы *аэрозоля*, состоящие преимущественно из органических соединений, главным образом углерода, азота, кислорода и меньших количеств других элементов (Charlson and Heintzenberg, 1995). См. *Углеродосодержащий аэрозоль*.

Ozone - Озон Озон, трехатомная разновидность кислорода (O_3), представляет собой газообразный компонент в составе 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 солнечного ультрафиолетового излучения с молекулярным кислородом (O_2). Стратосферный озон играет решающую роль в радиационном балансе стратосферы. Его концентрация достигает наибольшего значения в *озоновом слое*.

Ozone hole - Озоновая дыра См. *Озоновый слой*.

Ozone layer - Озоновый слой В *стратосфере* есть слой, в котором концентрация *озона* достигает максимального значения. Это слой называется озоновым. Он расположен на высоте от 12 до 40 км от поверхности Земли с максимумом концентрации озона 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, что также обусловлено действием хлористых и бромистых соединений антропогенного происхождения в сочетании со специфическими метеорологическими условиями в этом районе. Это явление получило название *озоновой дыры*. См. *Монреальский протокол*.

Pacific decadal variability – Тихоокеанская десятилетняя изменчивость Десятилетняя и 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* 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 корректированию цикла *Эль-Ниньо – Южного колебания*. Основные измерители Тихоокеанской десятилетней изменчивости – *Северный тихоокеанский индекс (СТИ)*, индекс *Тихоокеанского десятилетнего колебания (ТДК)*, индекс *Внутривекового тихоокеанского колебания (ВТК)*. Все эти показатели определены во Вставке 3.4.

Pacific-North American (PNA) pattern - Тихоокеанско-Североамериканская (ТСА) модель Атмосферная крупномасштабная волновая картина, включающая последовательность тропосферных аномалий высокого и низкого давления, простирающаяся от субтропической западной части Тихого океана до восточного побережья Северной Америки. См. индекс модели ТСА, Вставка 3.4.

Palaeoclimate – Палеоклимат *Климат* в периоды, предшествующие разработкам измерительных приборов,

включая исторические и геологические эпохи, для которых имеются только *косвенные* климатические данные.

Parametrization - Параметризация В *моделях климата* этот термин обозначает методику описания процессов, не поддающихся точному разложению при данной пространственной или временной разрешающей способности модели (процессов, масштабы которых меньше разрешающей способности сетки) путем расчета взаимосвязей между более крупномасштабным потоком, разложенным в модели, и усредненным по времени или площади эффектом таких процессов, масштабы которых меньше разрешающей способности сетки.

Patterns of climate variability – Модели изменчивости климата См. *Режимы изменчивости климата*.

Percentile – Процентиль Значение на сотенной шкале, которое показывает процентную долю значений набора данных, равных данному значению или меньше его. С помощью процентиля часто оцениваются экстремумы распределения. Например, 90-й (10-й) процентиль может использоваться для обозначения порога верхних (нижних) экстремумов.

Permafrost - Вечная мерзлота Грунт (почва или порода с включениями льда и органических веществ), который сохраняет температуру 0°C или меньше в течение минимум двух лет подряд (Van Everdingen, 1998)..

pH Безразмерный показатель кислотности воды (или любого раствора), задаваемый концентрацией в ней ионов водорода (H⁺). Измеряется по логарифмической шкале, где $pH = -\log_{10}(H^+)$. Таким образом, снижение pH на 1 единицу соответствует десятикратному повышению концентрации H⁺, или кислотности.

Photosynthesis - Фотосинтез Процесс усвоения растениями углекислого газа, содержащегося в воздухе (или бикарбоната в воде), с образованием углеводов и выделением кислорода. Есть несколько механизмов фотосинтеза с различной реакцией на концентрации CO₂ в атмосфере. См. также *Обогащение атмосферы углекислым газом; C₃-растения; C₄-растения*.

Plankton - Планктон Микроорганизмы, живущие в верхних слоях акваторических систем. Различают *фитопланктон*, который получает энергию путем *фотосинтеза*, и *зоопланктон*, питающийся фитопланктоном.

Pleistocene Первый из двух четвертичных периодов, который начался после плейстоцена (около 1,8 млн. лет назад) и закончился началом голоцена (около 11,6 тыс. лет назад).

Pollen analysis – Пыльцевой анализ Метод относительного датирования и экологической *реконструкции*, состоящий из выявления и подсчета типов пыльцы, сохранившейся в торфе, озерных наносах и других отложениях. См. *Косвенный показатель*.

Post-glacial rebound - Послеледниковое повышение Вертикальное перемещение суши и морского дна вследствие уменьшения нагрузки массы льда, например, после *последнего ледникового максимума* (21 тыс. лет назад). Такое повышение является *изостатическим* перемещением суши.

Precipitable water – Осаждаемая вода Общий объем атмосферного водяного пара в вертикальном столбе единичной площади поперечного сечения. Обычно выражается как

количество воды, собранной в сосуде такого же единичного поперечного сечения, если весь водяной пар в этом столбе будет сконденсирован и выпадет в виде осадков.

Precursors - 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.

Predictability – 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* в общем случае несовершенно, как несовершенны и модели, использующие это знание для выработки *предсказания климата*, а также учитывая, что климатическая система по своей природе *нелинейна* и *хаотична*, предсказуемость климатической системы изначально ограничена. Даже при произвольно точных моделях и наблюдениях все равно могут быть пределы предсказуемости такой нелинейной системы (AMS, 2000).

Pre-industrial – Доиндустриальный См. *Промышленная революция*.

Probability Density Function (PDF) – Функция распределения вероятностей (ФРВ) Функция, которая показывает относительные шансы появления различных значений переменной. Интеграл ФРВ по всей области ее определения равняется единице, а интеграл по подобласти равняется вероятности того, что значение переменной лежит в данной подобласти. Например, вероятность того, что определенная конкретным образом аномалия температуры больше нуля, получается из ФРВ путем интегрирования ФРВ по всем возможным аномалиям температуры, превышающим нуль. Аналогичным образом определяются функции распределения вероятностей, которые описывают одновременно две и более переменных.

Projection - Проекция Проекция представляет собой потенциальное будущее изменение какого-либо количественного показателя или совокупности количественных показателей, зачастую рассчитываемых с помощью модели. Между проекциями и *предсказаниями* проводится различие с целью подчеркнуть, что проекции основаны на допущениях относительно, например, будущего социально-экономического и технологического развития, которое может произойти или не произойти, и в этой связи характеризуются существенной *неопределенностью*. См. также *Предсказание климата; Проекция климата*.

Proxu – Косвенный показатель Косвенный показатель *климата* – это локальный факт, путем толкования которого по физическим и биофизическим принципам формируется описание сочетания относящихся к климату вариаций за прошлые периоды времени. Относящиеся к климату данные, полученные таким путем, называют косвенными данными. Примеры косвенных данных – результаты *пыльцевого анализа*, данные *годовых колец*, характеристики кораллов и разные данные, полученные из *керна льда*.

Quaternary – Четвертичный период Геологический период, следующий за *третичным периодом* (65 млн. – 1,8 млн. лет назад). По принятому определению (которое в настоящее время пересматривается) четвертичный период начался 1,8 млн. лет назад и продолжается сейчас. Он состоит из двух эпох – плейстоцена и голоцена.

Radiative forcing - Радиационное воздействие Радиационное воздействие представляет собой изменение чистого – нисходящий минус восходящий – потока излучения на единицу площади (выражается в Вт/м²) в тропопаузе в результате изменения внешнего фактора, *приводящего* в движение *изменение климата*, например, вследствие изменения концентрации *углекислого газа* или потока энергии Солнца. Радиационное воздействие рассчитывается при фиксированных (невозмущенных) значениях всех свойств тропосферы, причем после того, как стратосферные температуры, если они возмущены, восстановятся до радиационно-динамического равновесия. Радиационное воздействие называется *мгновенным*, если изменение стратосферной температуры не учитывается. 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* – аналогичным термином, описывающим меру влияния облаков на поток излучения на единицу площади в верхних слоях *атмосферы*.

Radiative forcing scenario - Сценарий радиационного воздействия Правдоподобное описание будущего развития процесса *радиационного воздействия*, связанного, например, с изменением состава атмосферы или с изменением в землепользовании либо с воздействием внешних факторов, таких, как колебания *солнечной активности*. Сценарии радиационного воздействия могут быть использованы в качестве исходного элемента для ввода в упрощенные *модели климата* для расчета *проекций климата*.

Rapid climate change – Быстрое изменение климата См. *Резкое изменение климата*.

Reanalysis – Повторный анализ Анализ температуры, ветра, течений и других метеорологических и океанографических количественных показателей атмосферы и океана, полученных из метеорологических и океанографических данных за прошлые периоды с помощью фиксированных современных моделей прогнозирования погоды и методов усвоения данных. Использование фиксированного усвоения данных позволяет избежать эффектов смены системы анализа, которые присутствуют в операционном анализе. Хотя непрерывность улучшается, глобальный повторный анализ все равно страдает от изменения охвата и необъективности систем наблюдения.

Reconstruction – Реконструкция Использование показателей климата для определения *климата* (как правило, имевшего место в прошлом).

Reforestation - Лесовозобновление

Насаждение лесов на землях, ранее находившихся под лесами, но выведенных в целях использования для других нужд. Анализ 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” (IPCC, 2000). См. также доклад «Определения и методологические варианты составления кадастра выбросов в результате непосредственной антропогенной деградации лесов и исчезновения других типов растительности» (IPCC, 2003).

Regime – Режим Предпочтительные состояния *климатической системы*, часто представляющие одну фазу доминирующих моделей или *режимов изменчивости климата*.

Region – Регион Территория, характеризующаяся конкретными географическими и климатологическими

особенностями. На *климат* региона влияют воздействия регионального и локального масштаба, такие как топография, характеристики *землепользования*, озера и т.д., а также удаленные воздействия других регионов. См. *Дальняя корреляционная связь*.

Relative sea level - Относительный уровень моря Уровень моря, измеренный с помощью *мареографа* по отношению к суше, на которой он расположен. *Средний уровень моря* обычно определяется как средний относительный уровень моря в течение определенного периода, например месяца или года, достаточно длинного для того, чтобы можно было усреднить изменения кратковременных параметров, волн и приливов. См. *Изменение уровня моря*.

Reservoir - Накопитель Компонент *климатической системы*, помимо *атмосферы*, который обладает способностью хранить, аккумулировать или высвобождать подконтрольное вещество, например, углерод, *парниковый газ* или *прекурсор*. Примерами накопителей углерода являются океаны, почвы и *леса*. Эквивалентный термин – *пул* (следует иметь в виду, что это определение зачастую включает также атмосферу). Абсолютное количество подконтрольных веществ, содержащихся в накопителе в течение заданного времени, называется *запасом*.

Respiration – Дыхание Процесс, посредством которого живые организмы преобразуют органическое вещество в *углекислый газ*, высвобождая энергию и потребляя молекулярный кислород.

Response time - Время реакции Время реакции или *время корректировки* означает время, которое требуется *климатической системе* для того, чтобы снова уравновеситься в новом состоянии после прекращения воздействия, обусловленного внешними или внутренними процессами или *обратными связями*. Время реакции различных компонентов климатической системы варьируется в очень широких пределах. Время реакции *тропосферы* относительно короткое – от нескольких дней до нескольких недель, тогда как *стратосфера* достигает равновесия в диапазоне *временной шкалы* продолжительностью, как правило, несколько месяцев. Время реакции океанов, в силу их большой теплоемкости, гораздо большее – обычно десятилетия, а то и целые столетия и тысячелетия. Поэтому время реакции сильно связанной системы «поверхность-тропосфера» короткое по сравнению с временем реакции стратосферы и определяется, главным образом, океанами. *Биосфера* может реагировать на вынужденные воздействия быстро (пример – *засухи*), но в целом ее реакция очень медленная. Другое определение времени реакции применительно к скорости процессов, воздействующих на концентрации газов в следовых количествах, см. в пункте *Время жизни*.

Return period – Период повторяемости Среднее время между случаями наступления определенного события (AMS, 2000).

Return value – Возвращаемое значение Наибольшее (или, как вариант, наименьшее) значение данной переменной, в среднем встречающееся один раз за данный период времени (например, за 10 лет).

Scenario - Сценарий Правдоподобное и часто упрощенное описание возможных путей будущего развития на основе согласованного и внутренне связанного набора допущений в отношении движущих сил и ключевых взаимосвязей. Сценарии могут разрабатываться на основе *проекций*, однако часто они строятся на дополнительной информации из других источников,

иногда в сочетании с *повествовательной сюжетной линией*. См. также *Сценарии СДСВ; Сценарий климата; Сценарий выбросов*.

Sea ice - Морской лед Любая форма находящегося в море льда, который образовался вследствие 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). Морской лед, возраст которого меньше года, называется *однолетним льдом*. *Многолетний лед* – это морской лед, который пережил минимум один летний период таяния.

Sea level change – Изменение уровня моря Уровень моря может изменяться, как глобально, так и локально, вследствие (1) изменений формы бассейнов океанов; (2) изменений общей массы воды; (3) изменений плотности воды. Изменения уровня моря, вызванные изменениями плотности воды, называются *стерическими*. Изменения плотности, вызванные только изменениями температуры, называются *термостерическими*, тогда как изменения, вызванные изменениями солености, называются *галостерическими*. См. также *Относительный уровень моря; Тепловое расширение*.

Sea level equivalent (SLE) – Эквивалент уровня моря (ЭУМ) Изменение глобального среднего уровня моря, которое произошло бы, если бы данное количество воды или льда было добавлено в океаны или удалено из океанов.

Seasonally frozen ground – Сезонномерзлый грунт См. *Мерзлый грунт*.

Sea surface temperature (SST) – Температура поверхности моря(ТПМ) Подповерхностная объемная температура в верхних нескольких метрах океана, измеренная судами, стационарными и дрейфующими буями. Измерения проб 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 толщиной в миллиметр) в инфракрасной или верхней сантиметровой части микроволнового диапазона, однако их необходимо корректировать для совместимости с объемной температурой.

Sensible heat flux – Явный поток тепла Поток тепла с поверхности Земли в *атмосферу*, не связанный с фазовыми превращениями воды, компонент поверхностного энергетического баланса.

Sequestration – Секвестрация См. *Поглощение*.

Significant wave height – Показательная высота волны Средняя высота одной третьей части самых высоких волн (ветровые волны и волны зыби) за конкретный временной промежуток.

Sink - Поглотитель Любой процесс, вид деятельности или механизм, который *удаляет парниковый газ*, аэрозоль или *прекурсор* парникового газа либо аэрозоля из *атмосферы*.

Slab-ocean model – Монолитная модель океана Упрощенное представление в *климатической модели* океана как неподвижного слоя воды глубиной от 50 до 100 м. Климатические модели с монолитным океаном могут использоваться только для оценки равновесной реакции климата на данное воздействие, а не на переходную эволюцию

климата. См. *Эксперимент с равновесным и переходным состоянием климата*.

Snow line –Линия снега Нижний предел вечного снежного покрова, ниже которого снег не накапливается.

Soil moisture - Почвенная влага Вода, которая содержится в почве или на ее поверхности и которая может испаряться.

Soil temperature – Температура почвы См. *Температура грунта*.

Solar activity - Солнечная активность Солнце демонстрирует периоды высокой активности, проявляющейся в количестве *солнечных пятен*, а также в мощности излучения, магнитной активности и излучении частиц высокой энергии. Эти колебания происходят в широком диапазоне временных масштабов, от нескольких миллионов лет до нескольких минут. См. *Солнечный цикл*.

Solar ('11 year') cycle - Солнечный («11-летний») цикл Приблизительно регулярные колебания *солнечной активности* переменной мощности с периодом от 9 до 13 лет.

Solar radiation - Солнечная радиация Электромагнитная радиация, излучаемая Солнцем. Ее также называют *коротковолновым излучением*. Солнечная радиация характеризуется четким диапазоном длин волн (спектром), определяемым температурой Солнца, причем максимум имеет место на видимых длинах волн. См. также *Тепловое инфракрасное излучение; Инсоляция*.

Soot - Сажа Частицы, образующиеся в процессе охлаждения газов на внешнем краю пламени в виде органических паров, которые состоят преимущественно из углерода, с меньшим содержанием кислорода и водорода, присутствующих в виде карбоксильных и фенольных групп, с неправильной структурой графита. См. *Технический углерод; Древесный уголь* (Charlson and Heintzenberg, 1995, p. 406).

Source - Источник Любой процесс, вид деятельности или механизм, в результате которого в атмосферу поступает *парниковый газ*, *аэрозоль* или *прекурсор* парникового газа или аэрозоля.

Southern Annular Mode (SAM) - Южный кольцевой режим (ЮКР) Флуктуация режима, похожая на *Северный кольцевой режим*, но в южном полушарии. См. индекс ЮКР, Вставка 3.4. **Southern Oscillation – Южное колебание** См. *Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНСО)*.

Spatial and temporal scales - Пространственные и временные масштабы *Климат* может варьироваться в очень широких пространственных и временных масштабах. Пространственные масштабы могут варьироваться от местных (менее 100 тыс. км²) до региональных (от 100 тыс. до 10 млн. км²) и континентальных (от 10 до 100 млн. км²). Временные масштабы могут варьироваться от сезонных до геологических (до сотен миллионов лет).

SRES scenarios - Сценарии СДСВ Сценарии СДСВ представляют собой *сценарии выбросов*, разработчиками которых являются Nakicenović and Swart (2000) и которые используются, среди прочего, в качестве основы для некоторых *проекций климата*, представленных в главе 10 настоящего доклада. Для лучшего понимания структуры и использования совокупности сценариев СДСВ ниже разъясняются 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» (Nakićenović and Swart, 2000). Они включают четыре *пересмотренных* сигнальных сценария для групп сценариев A1B, A2, B1, B2 и двух дополнительных сценариев для групп A1F1 и A1T. Все эти группы сценариев в одинаковой степени обоснованы.

Сигнальный сценарий сценарий, который изначально был помещен в предварительном варианте на веб-сайт СДСВ в качестве репрезентативного для данной сценарной семьи. В основу выбора сигнальных сценариев был положен критерий наиболее полного отражения первоначальных требований в данной сюжетной линии и особенностей конкретных моделей. Сигнальные 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 указанное выше издание (Nakićenović and Swart, 2000). 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 изменения.

Steric - Стерический См. *Изменение уровня моря*.

Stock – Запас См. *Накопитель*.

Storm surge - 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.

Storm tracks – Траектории циклонов Изначально этот термин обозначал траектории отдельных циклонических погодных систем, но сейчас его часто обобщают и используют для обозначения *регионов*, где проходят основные траектории внетропических возмущений вследствие областей низкого (циклоны) и высокого (антициклоны) давления.

Stratosphere - Стратосфера Сильно стратифицированная область *атмосферы*, расположенная выше *тропосферы* на высоте от 10 км (в среднем от 9 км в высоких широтах до 16 км в тропиках) до 50 км.

Subduction - Субдукция Океанический процесс, при котором поверхностные воды поступают в середину океана из поверхностного перемешанного слоя посредством *накачивания Экмана* и боковой *адвекции*. Второй из этих процессов имеет место, когда поверхностные воды перемещаются путем адвекции в область, где локальный поверхностный слой менее плотный и поэтому вынужден скользить ниже поверхностного слоя, обычно без изменений плотности.

Sunspots - Солнечные пятна Небольшие темные участки на Солнце. Число солнечных пятен больше в периоды высокой *солнечной активности*; оно изменяется, в частности, с *солнечным циклом*.

Surface layer – Приземный слой См. *Пограничный слой атмосферы*.

Surface temperature – Приземная температура См. *Глобальная приземная температура; Температура грунта; Приземная температура воздуха; Температура поверхности моря*.

Teleconnection – Дальняя корреляционная связь Связь между *вариациями климата* над отстоящими далеко друг от друга частями планеты. С физической точки зрения дальние корреляционные связи часто являются последствием крупномасштабных волновых движений, посредством которых энергия передается из регионов-источников по предпочтительным путям в *атмосфере*.

Thermal expansion - Тепловое расширение В связи с уровнем моря это означает увеличение объема (и уменьшение плотности) в результате нагревания воды. Потепление океана ведет к увеличению его объема и, как следствие, к повышению уровня моря. См. *Изменение уровня моря*.

Thermal infrared radiation - Тепловое инфракрасное излучение - **Тепловое инфракрасное излучение** Излучение, испускаемое поверхностью Земли, *атмосферой* и облаками. Оно также известно под названием *земного* или *длинноволнового излучения*, и его следует отличать от ближнего инфракрасного излучения, являющегося частью солнечного спектра. Инфракрасное излучение, вообще говоря, имеет четко определенный диапазон длин волн (*спектр*), который больше, чем длина волны красного цвета видимой части спектра.. Спектр теплового инфракрасного излучения практически отличается от спектра коротковолнового излучения, или *солнечной радиации*, что обусловлено разницей в температуре между Солнцем и системой «Земля-атмосфера»..

Thermocline - Термоклин Слой в океане с максимальным вертикальным градиентом температуры, лежащий между поверхностью океана и глубиной его частью. В субтропических регионах его исходными водами обычно являются поверхностные воды в более высоких широтах, *субдукция* которых привела к их перемещению в направлении экватора. В высоких широтах такого слоя иногда нет, и его заменяет *галоклин*, т.е. слой с максимальным вертикальным градиентом солености.

Thermohaline circulation (ТХЦ) - Термохалинная циркуляция (ТХЦ) Крупномасштабная 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 – асимметричная, с преобразованием в плотные воды в ограниченных областях высоких широт и возвращением на поверхность, включающим медленный апвеллинг и диффузионные процессы в гораздо более обширных географических областях. ТХЦ обусловлена высокой плотностью на поверхности или вблизи поверхности, которая вызвана низкой температурой и (или) высокой соленостью, однако, несмотря на свое суггестивное, хотя и обычное название, ТХЦ способствуют также механические силы, такие как ветер и прилив. Термин ТХЦ часто используется как синоним термина *меридиональная опрокидывающая циркуляция*.

Thermokarst - Термокарст Процесс, посредством которого подтаивание богатой льдом *вечной мерзлоты* или таяние массивного *подземного льда* приводит к образованию характерных форм рельефа (Van Everdingen, 1998).

Thermosteric - Термостерический См. *Изменение уровня моря*.

Tide gauge - Мареограф Устройство, установленное в прибрежном районе (и в некоторых глубоководных местах), которое постоянно измеряет уровень моря по отношению к прилегающей суше. Усредненный по времени уровень моря, регистрируемый таким образом, дает наблюдаемые вековые изменения *относительного уровня моря*.

Total solar irradiance (TSI) – Общий поток солнечного излучения на единицу площади (ОСИ) Количество *солнечной радиации*, принятое вне *атмосферы* Земли на поверхность, расположенную перпендикулярно к падающему излучению, на среднем расстоянии Земли от Солнца. Достоверные измерения солнечной радиации можно производить только из космоса, и точные данные об этом показателе доступны только с 1978 года. Общепринятое значение – 1,368 Вт/м² с точностью около 0,2%. Типичными являются вариации в несколько десятых долей процента, обычно связанные с проходом *солнечных пятен* через солнечный диск. Изменение ОСИ за *солнечный цикл* – порядка 0,1% (AMS, 2000). См. также *Инсоляция*.

Transient climate response – Переходная реакция климата См. *Чувствительность климата*.

Tree rings – Годичные кольца Концентрические кольца вторичной древесины, видимые в поперечном разрезе ствола древесного растения. Разница между плотной, мелкоклеточной 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*.

Trend – Тренд В настоящем докладе слово *тренд* обозначает изменение значения переменной, как правило, однообразное во времени.

Tropopause - Тропопауза Граница между *тропосферой* и *стратосферой*.

Troposphere - Тропосфера Самая нижняя часть *атмосферы*, простирающаяся от поверхности Земли на высоту приблизительно 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.

Turnover time – Время круговорота См. *Время жизни*.

Uncertainty - Неопределенность Выражение степени незнания какого-либо параметра (например будущего состояния *климатической системы*). Неопределенность может быть обусловлена отсутствием информации или расхождением во мнениях относительно того, что известно или даже познаваемо. Источники неопределенности могут быть самые разные: от поддающихся количественному определению ошибок в данных до нечетко сформулированных концепций или терминологии или неопределенных *проекций* поведения людей. Поэтому неопределенность может быть выражена количественными единицами измерения (например,

диапазоном значений, рассчитанных с помощью различных моделей) или качественными утверждениями (например, отражающими суждение какой-либо группы экспертов) (см. Moss and Schneider, 2000; Manning et al., 2004). См. также *Вероятность; Достоверность*.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) - Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН)

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. См. *Киотский протокол*.

Uptake – Поглощение Добавление рассматриваемого вещества в *накопитель*. Поглощение углеродсодержащих веществ, в частности, углекислого газа, часто называют *секвестрацией* (углерода).

Urban heat island (UHI) – Городской остров тепла (ГОТ) Относительная теплота города по сравнению с окружающими сельскими районами, связанная с изменениями в гидрологическом стоке, влиянием *«бетонных джунглей»* на сохранение тепла, изменениями *альbedo* поверхности, изменениями уровня загрязненности, изменениями концентрации *аэрозолей* и т.д.

Ventilation – Вентиляция Обмен свойств океана с *поверхностным слоем атмосферы*, при котором концентрации свойств приближаются к равновесным значениям с *атмосферой* (AMS, 2000).

Volume mixing ratio – Состав смеси по объему См. *Мольный состав*.

Walker Circulation – Циркуляция Уокера Непосредственная, с тепловым приводом зональная опрокидывающая циркуляция в *атмосфере*, над тропической частью Тихого океана, с усиливающимся ветром в западной части Тихого океана и стихающим ветром в восточной.

Water mass – Водная масса Объем океанской воды с определяемыми свойствами (температурой, соленостью, плотностью, химическими показателями), являющимися результатом уникального процесса ее образования. Водные массы часто определяются через вертикальный или горизонтальный экстремум какого-либо свойства, например, солености.

Younger Dryas – Молодой дриас Период, длившийся 12900-11600 лет назад, во время дегляциации, характеризующийся временным возвратом к более холодным условиям во многих районах, особенно вокруг Северной Атлантики.

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) была создана совместно Всемирной метеорологической организацией и Программой ООН по окружающей среде для подготовки авторитетного международного отчета о научном понимании изменения климата. Периодические оценки МГЭИК причин, последствий и возможных стратегий реагирования на изменение климата – это наиболее полные и актуальные доклады из имеющихся по данной тематике; они являются авторитетным справочником для всех, кто интересуется изменением климата, – ученых, правительственных органов и промышленности всего мира. Участвуя в деятельности трех рабочих групп, многие сотни международных экспертов оценивают изменение климата в этом Четвертом докладе об оценках. Доклад состоит из трех частей, объединенных общим названием – «Изменение климата, 2007 г.» и опубликованных издательством Кембриджского университета:

«Изменение климата, 2007 г.: физическая научная основа»

Вклад Рабочей группы I в Четвертый доклад МГЭИК об оценках
(ISBN 978 0521 88009-1 твердая обложка, 978 0521 70596-7 мягкая обложка)

«Изменение климата, 2007 г.: последствия, адаптация и уязвимость»

Вклад Рабочей группы II в Четвертый доклад МГЭИК об оценках
(978 0521 88010-7 твердая обложка; 978 0521 70597-4 мягкая обложка)

«Изменение климата, 2007 г.: смягчение последствий изменения климата»

Вклад Рабочей группы III в Четвертый доклад МГЭИК об оценках
(978 0521 88011-4 твердая обложка; 978 0521 70598-1 мягкая обложка)

«Изменение климата, 2007 г.: физическая научная основа» – наиболее полная и актуальная научная оценка изменения климата в прошлом, настоящем и будущем. Этот доклад содержит:

- наиболее полную и количественную оценку влияния деятельности человека на радиационный энергетический баланс в атмосфере;
- более обширную оценку изменений, наблюдаемых во всей климатической системе, чем все предыдущие оценки, основанную на самых последних измерениях, охватывающих атмосферу, поверхность суши, океаны, снег, лед и мерзлый грунт;
- подробную оценку изменения климата в прошлом и его причин;
- первую вероятностную оценку результатов моделирования и составления проекций климата с помощью детальных моделей сопряженной системы атмосфера-океан в 18 центрах моделирования по всему миру;
- подробную оценку наблюдений, моделирования и объяснения причин изменения климата для каждого континента.

Попросту говоря, эта новейшая оценка МГЭИК вновь станет научным справочником для всех, кто занимается вопросами изменения климата и его последствий, включая студентов и исследователей в таких отраслях, как энвироника, метеорология, климатология, биология, экология и химия атмосферы, а также для тех, кто формирует политику в правительствах и промышленности всего мира.

Эта брошюра содержит «Резюме для политиков», «Техническое резюме» и «Часто задаваемые вопросы» данного доклада.