

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 построчное обсуждение и согласование, но, тем не менее, представляет всесторонний, объективный и сбалансированный 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), Джаивен 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

Кангри 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 кернах 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. Дополнительные 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. Нынешние 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

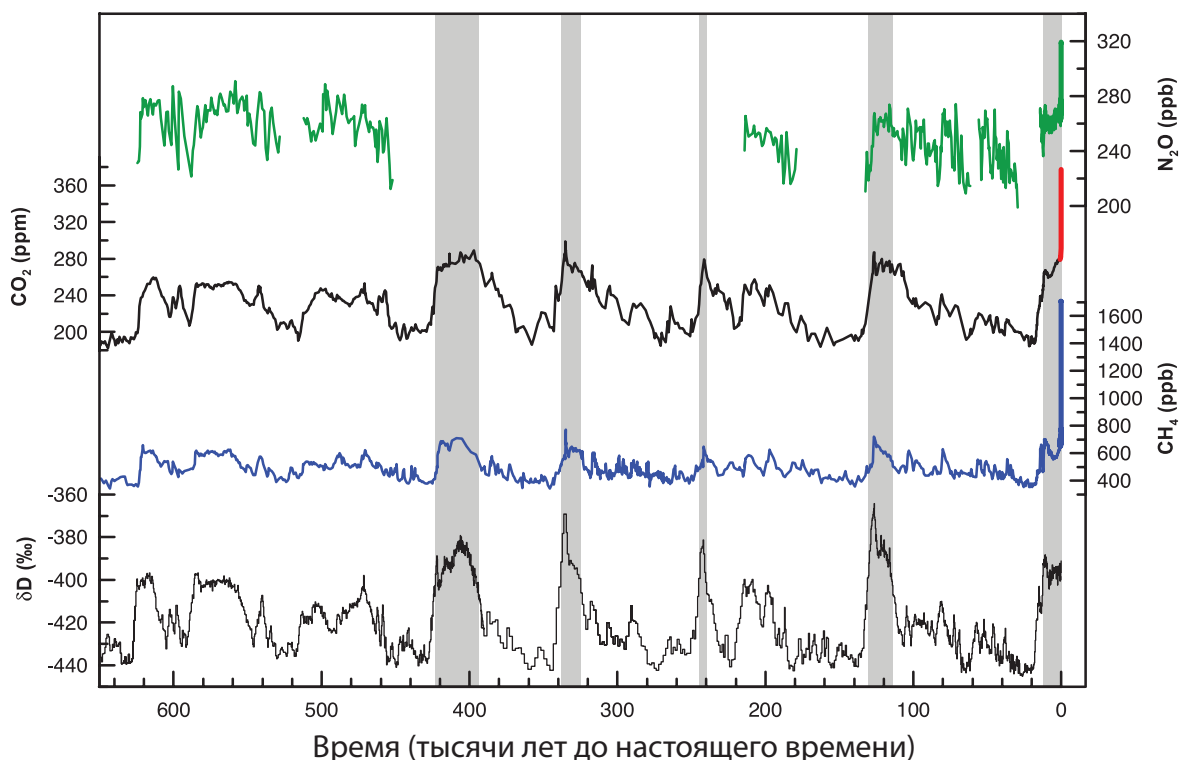


Рис. TS.1. Колебания содержания дейтерия (δD) в антарктическом льде, которое является косвенным показателем локальной температуры, и атмосферные концентрации парниковых газов – углекислого газа (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O) – в воздухе, попавшем внутрь кернов, а также данные последних атмосферных 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

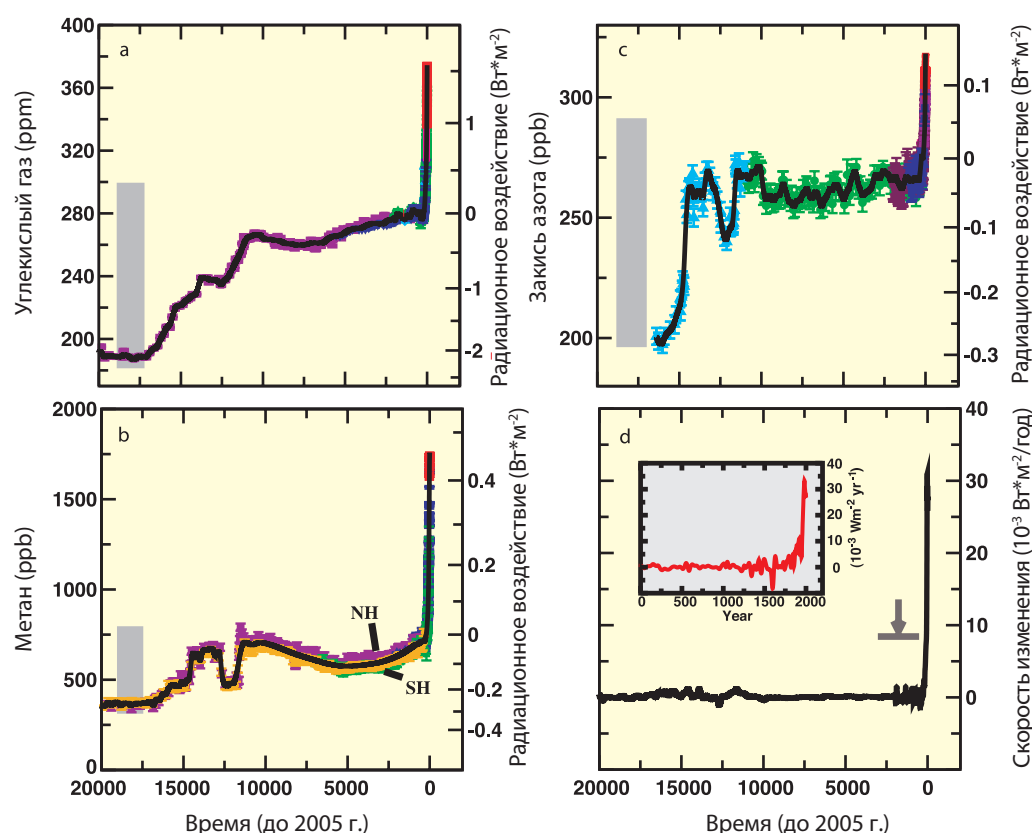


Рис. TS.2. Концентрации и радиационное воздействие (а) углекислого газа (CO_2), (б) метана (CH_4), (с) закиси азота (N_2O) и (д) скорость изменения их совокупного радиационного воздействия за последние 20 тысяч лет, восстановленные из данных антарктического и гренландского льда, фирновых данных (символы) и непосредственных атмосферных измерений (панели а, б, с, красные линии). Серые столбики – реконструированные диапазоны естественной изменчивости за прошедшие 650 тыс. лет. Скорость изменения радиационного воздействия (панель д, 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 д, 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.

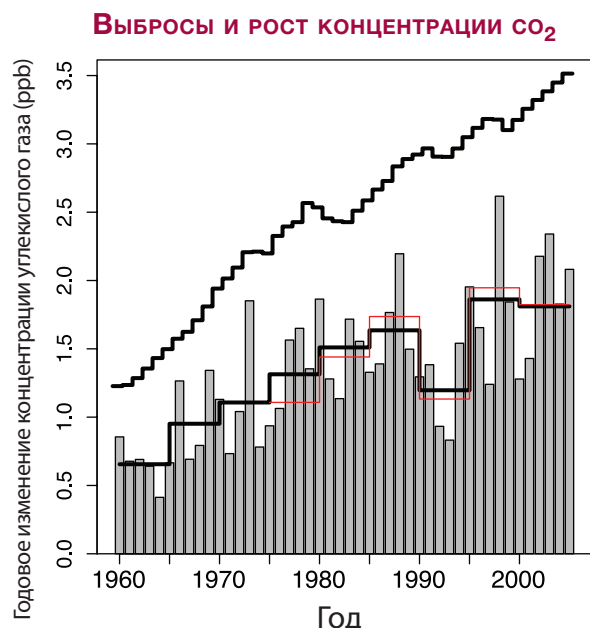


Рис. TS.3. Годовые изменения в глобальной средней концентрации CO₂ (серые полосы) и их пятилетние средние по данным двух разных сетей измерений (красная и нижняя черная ступенчатые линии). Пятилетние средние сглаживают кратковременные возмущения, связанные с сильными эпизодами ЭНЮК в 1972, 1982, 1987 и 1997 гг. Неопределенности в пятилетних средних указаны разницей между красной и нижней черной линиями и составляют порядка 0,15 ppm. 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 сушей в средних широтах северного полушария и почти нулевые потоки между сушей 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 потоков земной биосферы диктуется климатическими колебаниями, которые влияют на поглощение CO₂ растениями и возврат CO₂ в атмосферу при гниении органических материалов вследствие гетеротропного 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 осадждением 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}

Радикационное 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}

Радикационное 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

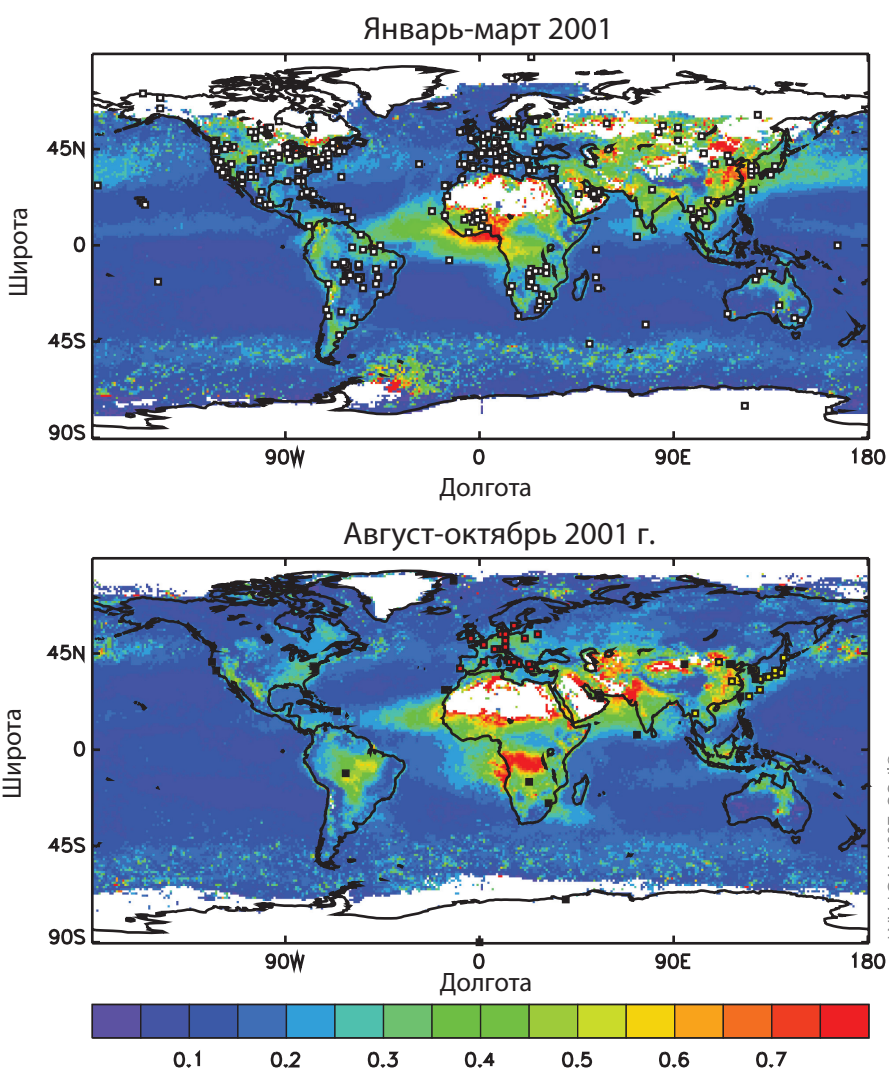


Рис. TS.4. (Вверху) Общая оптическая плотность аэрозолей (естественных плюс антропогенных) в середине видимого участка спектра, определенная спутниковыми измерениями за период январь-март 2001 г. и (внизу) август-октябрь 2001 г., которая иллюстрирует сезонные изменения объемов промышленных и биомассовых 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 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 не существенно. {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

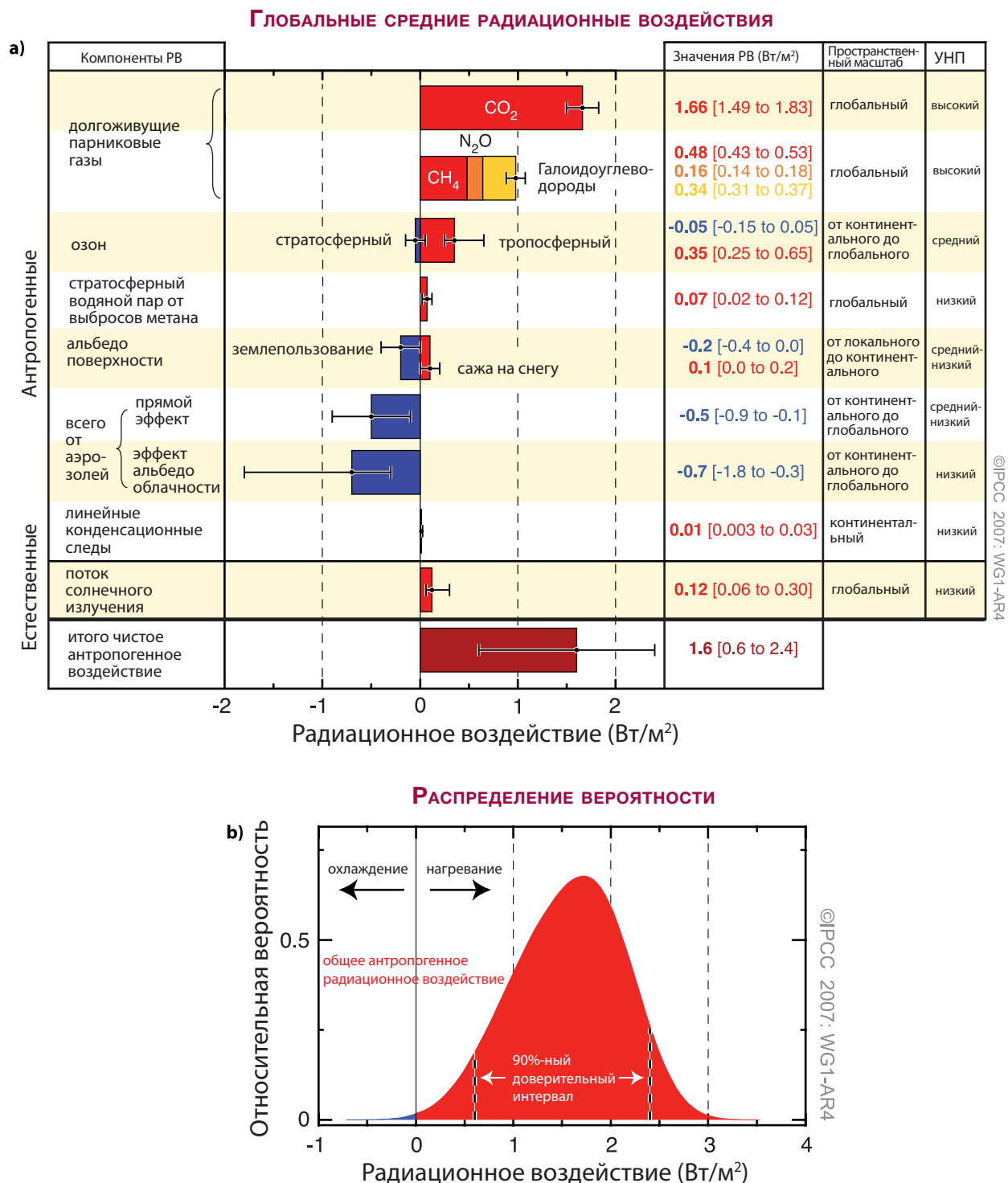


Рис. TS.5. (а) Глобальные средние радиационные воздействия (РВ) и их 90%-ные доверительные интервалы для различных факторов и механизмов, 2005 год. В графах справа указаны наилучшие оценки и доверительные интервалы (значения РВ), типичный географический охват воздействия (пространственный масштаб) и 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 приносят 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. (б) 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 1.4×10^{-5}	1	1	1	1
Метан ^c	CH_4	12 ^c	3.7×10^{-4}	21	72	25	7.6
Заись азота	N_2O	114	3.03×10^{-3}	310	289	298	153
Вещества, контролируемые Монреальским протоколом							
ХФУ-11	CCl_3F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
ХФУ-12	CCl_2F_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	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
ХФУ-114	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	300	0.31		8,040	10,000	8,730
ХФУ-115	CClF_2CF_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	$\text{CBrF}_2\text{CBrF}_2$	20	0.33		3,680	1,640	503
Четыреххлор.углерод	CCl_4	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Метилбромид	CH_3Br	0.7	0.01		17	5	1
Трихлорэтан	CH_3CCl_3	5	0.06		506	146	45
ГХФУ-22	CHClF_2	12	0.2	1,500	5,160	1,810	549
ГХФУ-123	CHCl_2CF_3	1.3	0.14	90	273	77	24
ГХФУ-124	$\text{CHClF}_2\text{CF}_3$	5.8	0.22	470	2,070	609	185
ГХФУ-141b	$\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{F}$	9.3	0.14		2,250	725	220
ГХФУ-142b	CH_3CClF_2	17.9	0.2	1,800	5,490	2,310	705
ГХФУ-225ca	$\text{CHCl}_2\text{CF}_2\text{CF}_3$	1.9	0.2		429	122	37
ГХФУ-225cb	$\text{CHClF}_2\text{CF}_2\text{CF}_3$	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_2F_2	4.9	0.11	650	2,330	675	205
ГФУ-125	CHF_2CF_3	29	0.23	2,800	6,350	3,500	1,100
ГФУ-134a	CH_2FCF_3	14	0.16	1,300	3,830	1,430	435
ГФУ-143a	CH_3CF_3	52	0.13	3,800	5,890	4,470	1,590
ГФУ-152a	CH_3CHF_2	1.4	0.09	140	437	124	38
ГФУ-227ea	$\text{CF}_3\text{CHFCF}_3$	34.2	0.26	2,900	5,310	3,220	1,040
ГФУ-236fa	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$	240	0.28	6,300	8,100	9,810	7,660
ГФУ-245fa	$\text{CHF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$	7.6	0.28		3,380	1030	314
ГФУ-365mfc	$\text{CH}_3\text{CF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$	8.6	0.21		2,520	794	241
ГФУ-43-10mee	$\text{CF}_3\text{CHFCHFCF}_2\text{CF}_3$	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_2F_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/м² /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-338pcc13 (HG-01)	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂	6.2	0.87		5,100	1,500	460
Перфторполиэфиры							
PFPME	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, используемом 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 (ПГП) – 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 ПГП 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, все еще содержат 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}

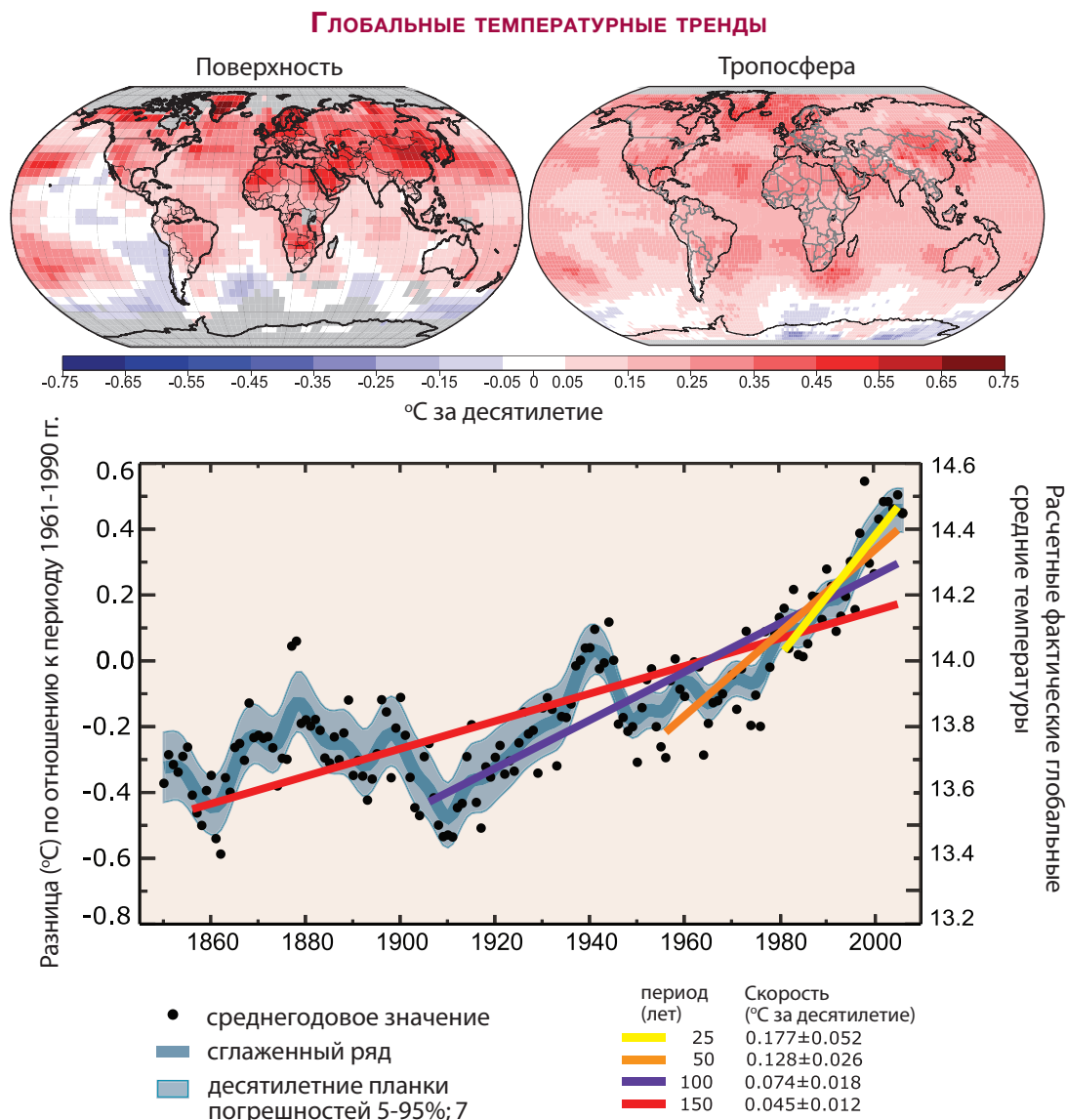


Рис. TS.6. (Вверху) Характер линейных глобальных температурных трендов за период 1979-2005 гг., оцененных у поверхности (слева) и со спутников в тропосфере (справа). Серым цветом выделены участки с неполными данными. (Внизу) Среднегодовые глобальные температуры (черные точки) с подбором прямой по данным. 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

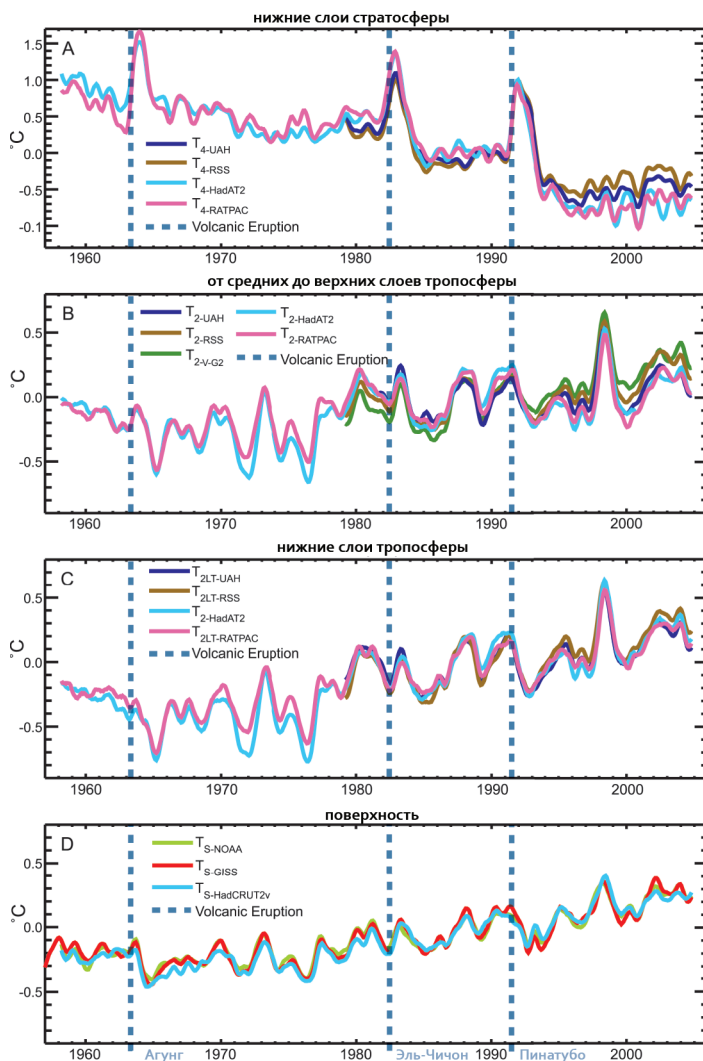


Рис. TS.7. Наблюдаемые приземные температуры (D) и температуры на высотах - в нижних слоях тропосферы (C), в средних и верхних слоях тропосферы (B), в нижних слоях стратосферы (A), показанные как среднемесячные аномалии относительно периода 1979-1997 годы, сглаженные с помощью фильтра семимесячного скользящего 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 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.



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.

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}

широтах Северной Атлантики можно считать в значительно 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

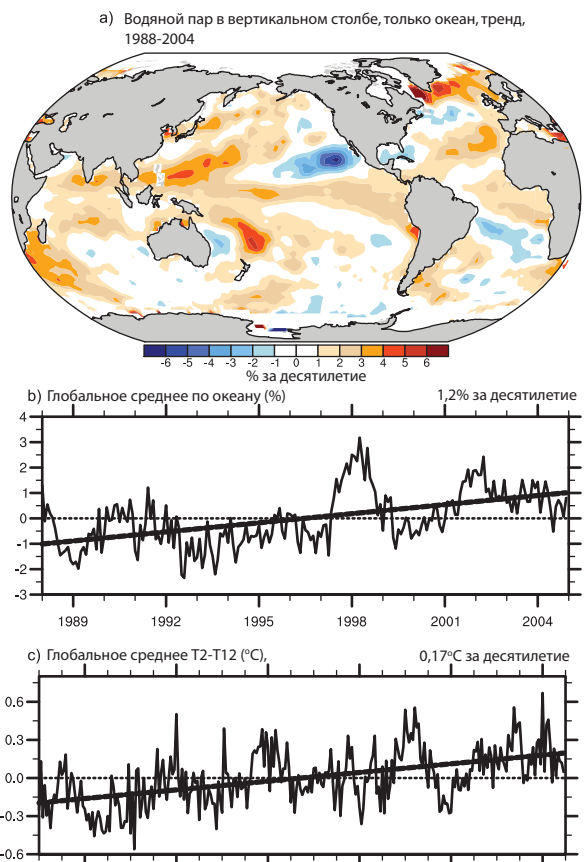


Рис. TS.8. (a) Линейные тренды в осаждаемой воде (общем объеме водяного пара в вертикальном столбе) за период 1988-2004 годы (% за десятилетие); (b) месячный временной ряд аномалий относительно показанного периода над глобальным океаном с линейным трендом; (c) глобальные средние (80° с.ш. - 80° ю.ш.) 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 засушливостью 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

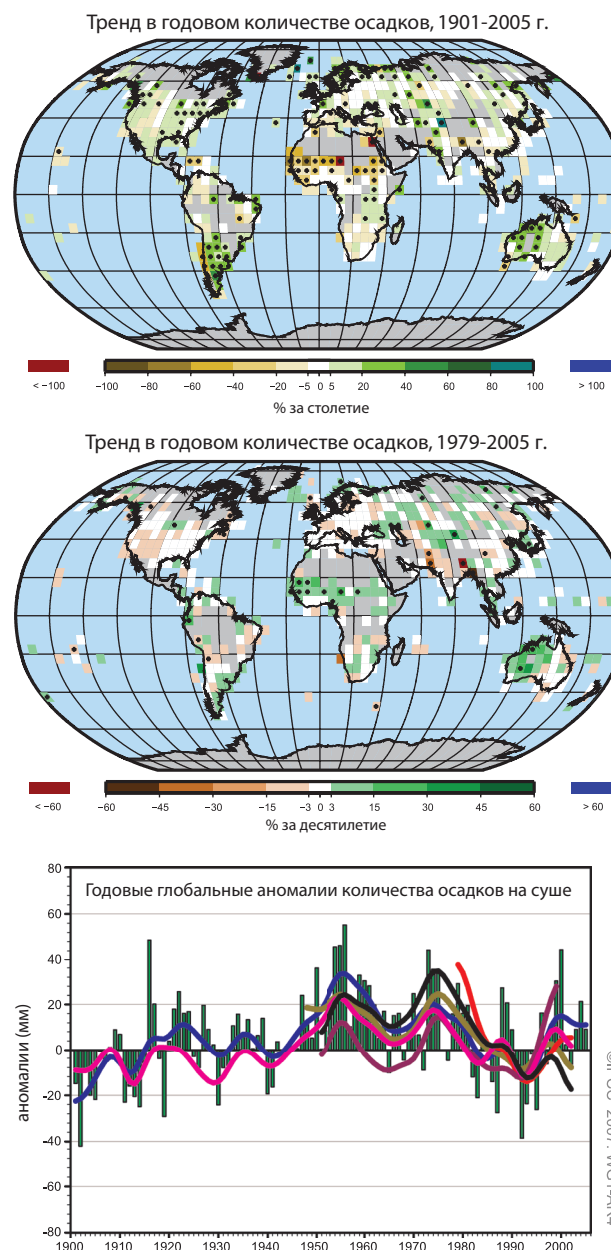


Рис. TS.9. (Вверху) Распределение линейных трендов годового количества осадков на суше за период 1901-2005 годы (% за столетие) и (в середине) за 1979-2005 годы (% за десятилетие). Серые участки – это участки, где недостаточно данных для получения достоверных трендов. Процентные значения основаны на 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

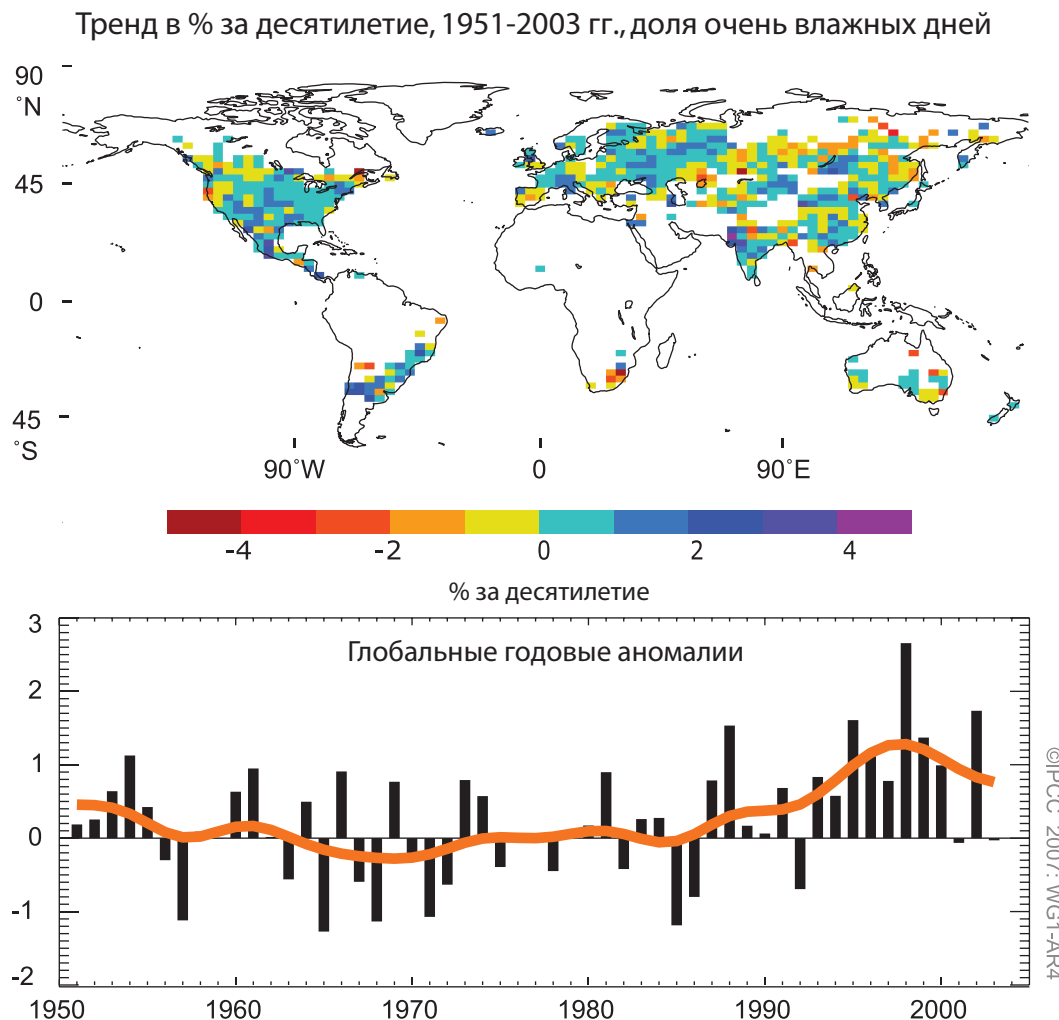


Рис. TS.10. (Вверху) Наблюдаемые тренды (% за десятилетие), за период 1951-2003 гг., доли очень влажных дней (т.е. соответствующих 95-му процентилю и выше) в общем годовом количестве осадков. Белые участки – это участки суши, для которых нет достаточных данных для определения трендов. (Внизу). Аномалии (%) 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.A). {Рис. 3.39}

Годовые аномалии температуры поверхности моря

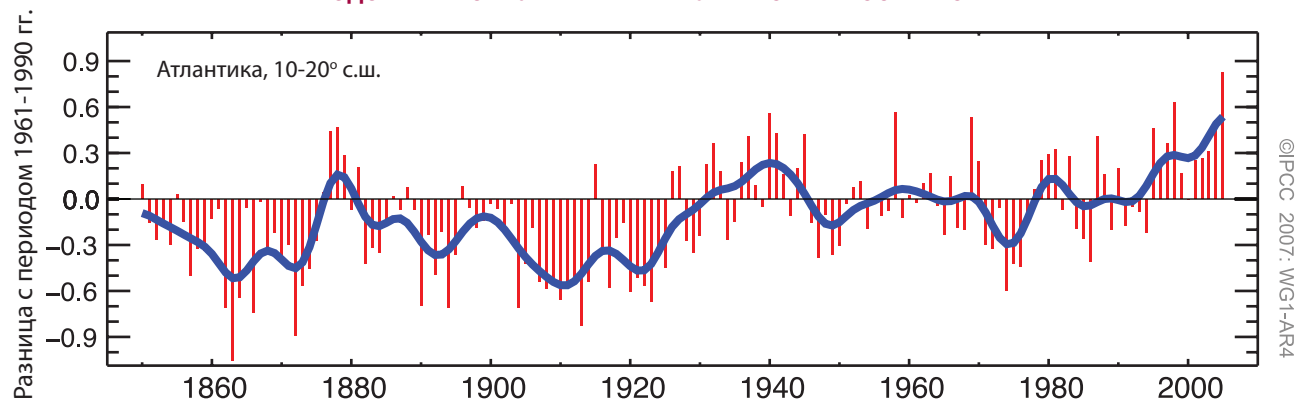


Рис. TS.11. Годовые аномалии температуры поверхности моря в тропической части Атлантики (10° с.ш. – 20° с.ш.) (°C), в регионе формирования атлантических ураганов, относительно среднего за период 1961-1990 гг.. {Рис. 3.33}

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 разнится 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 процентиля) 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 проистекают 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 альбедо поверхности. Поскольку 90% падающего солнечного излучения отражается поверхностью снега и льда, и лишь 10% отражается открытым океаном или покрытой растительностью сушей, 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 температуры 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

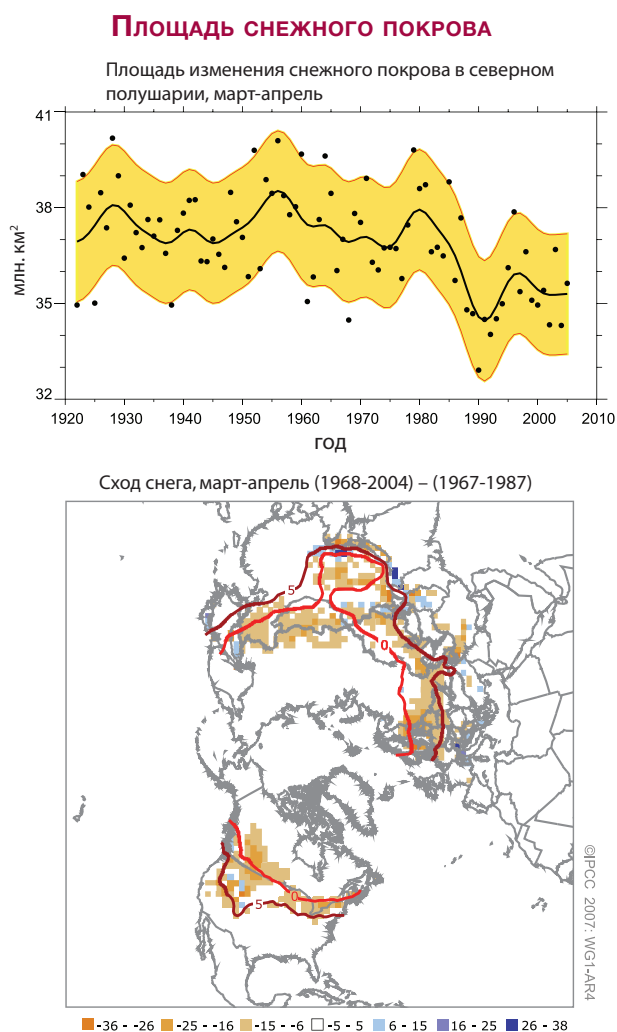


Рис. TS.12. (Вверху) Площадь снежного покрова в северном полушарии в марте-апреле по показателю снежного покрова, измеренному со станций (до 1972 г.) и по спутниковым данным (в 1972 г. и позже). Сглаженная кривая означает десятилетние вариации (см. Приложение 3.A), при этом диапазон данных 5-95% дан 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

Изменение площади морского льда

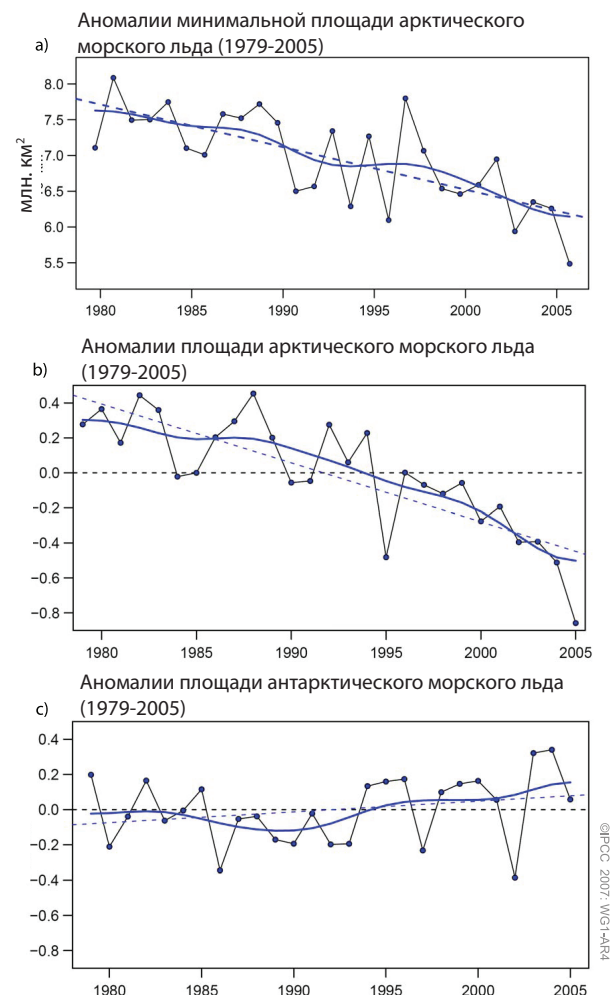


Рис. TS.13. (a) Минимальная площадь арктического морского льда; (b) аномалии площади арктического морского льда; (c) аномалии площади антарктического морского льда (все — за период 1979-2005 гг.). Символы означают годовые значения, а плавные синие кривые — десятилетние вариации (см. Приложение 3.A).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

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

(b) 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%.

(c) 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 $5,8 \pm 1,9$ дней за сто лет, а начало ледохода – приближалось со скоростью $6,5 \pm 1,4$ 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 $2,7 \pm 0,6\%$ за десятилетие (см. рис TS.13). Летом площадь льда уменьшается больше, чем зимой, причем летний минимум уменьшается со скоростью

около $7,4 \pm 2,4\%$ 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 солёности 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 $0,50 \pm 0,18$ мм в год за 1961-2003 годы и на $0,77 \pm 0,22$ 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

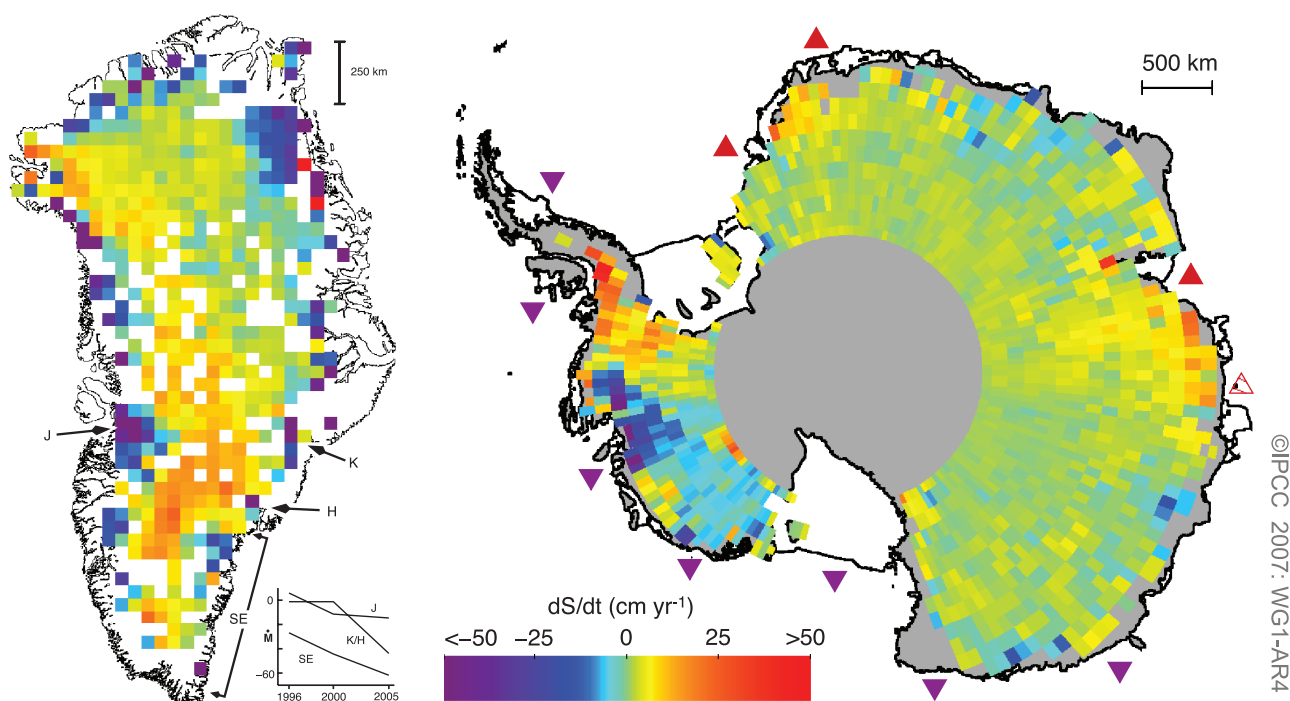


Рис. TS.14. Темпы наблюдаемого в последнее время изменения высоты поверхности льда в Гренландии (слева, 1989-2005 годы) и Антарктиде (справа, 1992-2005 годы). Красные тона – поднятие поверхности, синие – опускание поверхности, что обычно означает увеличение или убыль массы льда, хотя важную роль могут играть изменения в высоте ложа и приповерхностной плотности. Для Гренландии показаны быстро истончающиеся выводные ледники Якобсхавн (J), Кангердлугсваг (K), Хелгейм (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

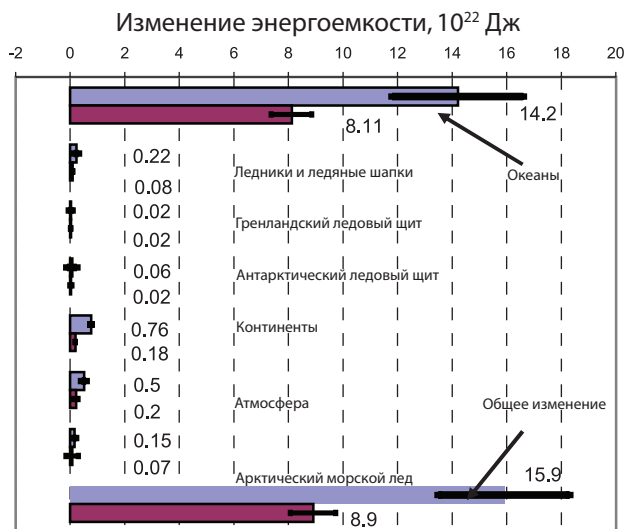


Рис. TS.15. Изменения энергоемкости различных компонентов системы Земли за два периода (1961-2003 гг. и 1993-2003 гг.). Синие полосы соответствуют 1961-2003 гг.; бордовые – 1993-2003 гг. Положительное изменение энергоемкости означает увеличение запаса энергии (т.е. теплоемкости океанов, скрытого тепла 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 солености. 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 солености ниже поверхностного слоя перешивания, где изменчивость меньше, а соотношение сигнал-шум выше. Наблюдения, проанализированные после ТДО, дали новые доказательства изменений теплосодержания и солености 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 недостатки в распределении данных (особенно охват в Южном океане и южной части Тихого океана)

ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ОКЕАНА (0-700 м)

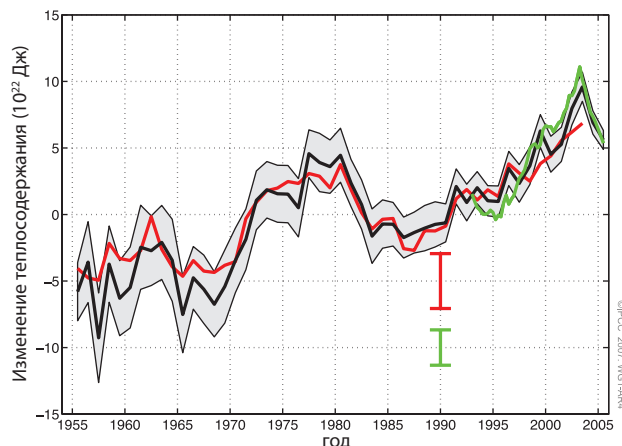


Рис. TS.16. Временной ряд теплосодержания глобального океана (10^{22} Дж) для слоя 0-700 м. Три цветные линии соответствуют независимым анализам океанографических данных. Черная и красная линии обозначают отклонение от среднего значения за 1961-1990 годы, а короткая зеленая линия – отклонение от среднего 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 солености океана

Поглощение антропогенного углерода с 1750 года привело к тому, что океан становится кислее, в частности, рН 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 рН снижается (т.е. океан становится кислее). Общее изменение рН вычисляется по оценкам поглощения антропогенного углерода и простым моделям океана. Прямые наблюдения за рН на имеющихся станциях за последние 20 лет также демонстрируют тенденции к понижению рН, со скоростью около 0,02 ед. за десятилетие. Снижение рН 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 рН 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 вентилиции, связанную с нагревом верхних слоев и (или) изменениями биологической активности. {5.4}

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

ЛИНЕЙНЫЕ ТРЕНДЫ СРЕДНЕЙ ЗОНАЛЬНОЙ СОЛЕННОСТИ (1955 - 1998)

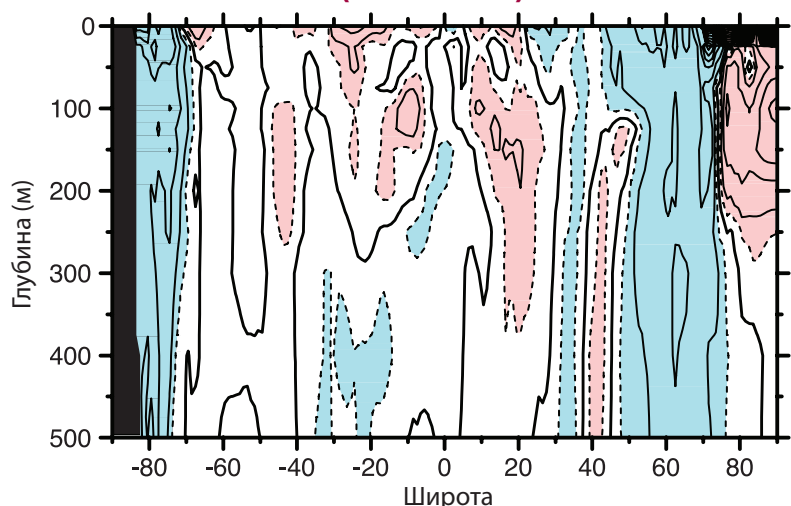


Рис. TS.17. Линейные тренды (1955-1998 гг.) средней зональной солёности (практическая шкала солёности) мирового океана. Интервал между изолиниями - 0,01 за десятилетие; прерывистые контуры - ± 0.005 за десятилетие. Темная сплошная линия – нулевой контур. Розовые участки – значения, равные или больше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

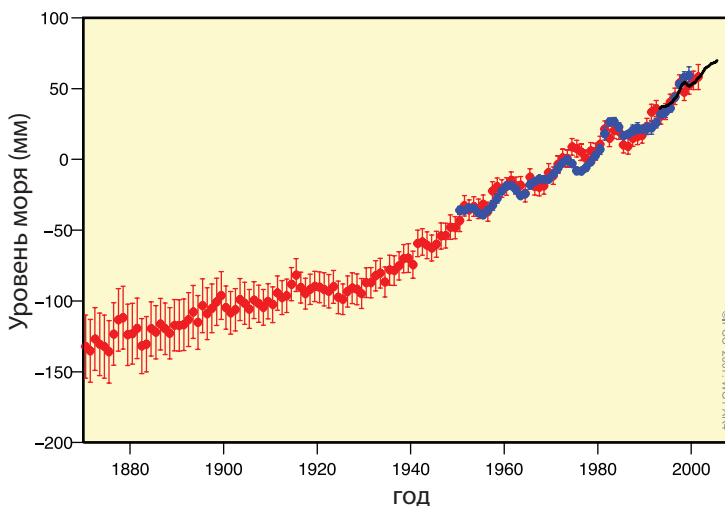


Рис. TS.18. Среднегодовой глобальный уровень моря на основании реконструированных данных за период с 1870 г. (красный), мареографических измерений с 1950 г. (синий) и данных спутниковой альтиметрии с 1992 г. (черный). Единицы измерения – миллиметры относительно среднего за 1961-1990 гг. Планки погрешностей – 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.А). 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 климатическихsea level rise 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±0,7 мм/год. Эти наблюдаемые темпы за прошедший период близки к расчетному итогу 2,8±0,7 мм/год связанных с климатом вкладов вследствие теплового расширения (1,6±0,5 мм/год) и изменений материкового льда (1,2±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

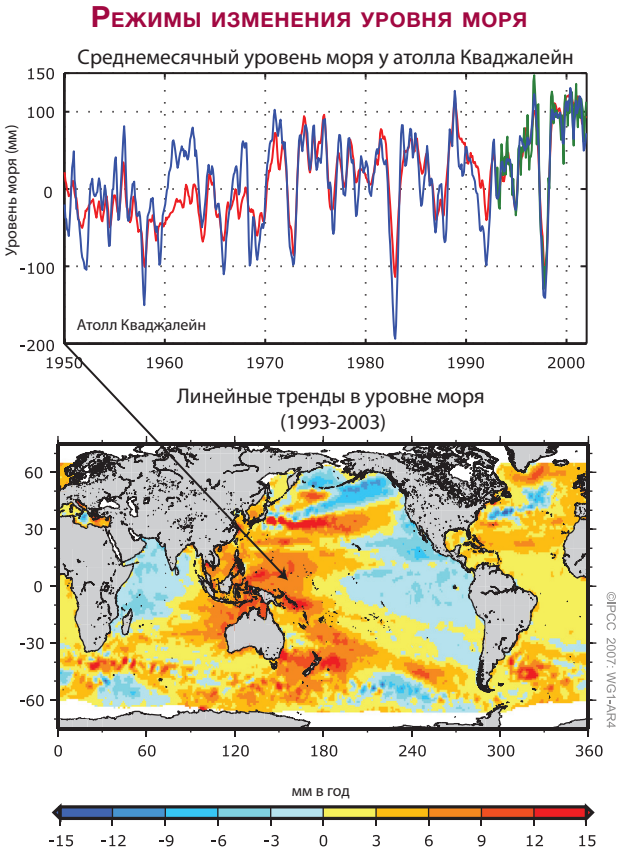


Рис. TS.19. (Вверху) Кривая среднемесячного уровня моря (мм) за 1950-2000 гг. на Кваджалейне (8°44' с.ш., 167°44' в.д.). Наблюдаемый уровень моря (по данным мареографов) показан голубым цветом, реконструированный уровень моря – красным, данные спутниковой альтиметрии – зеленым. Годовые и полугодовые 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 пониматься 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	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}

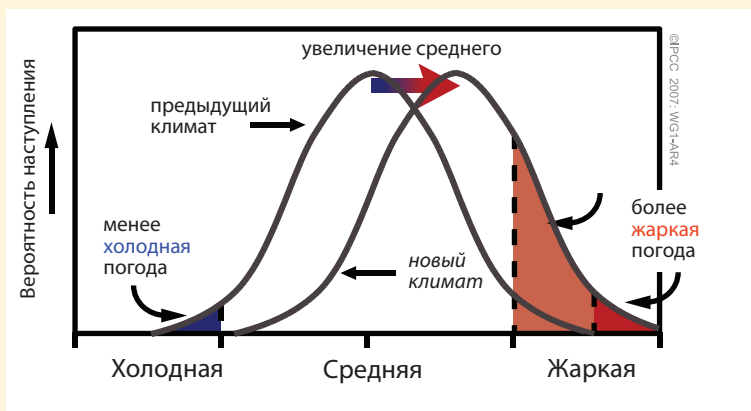
Хотя количество осадков во многих районах земного шара возросло, площадь, охваченная засухой, также увеличилась. Возросли также продолжительность и интенсивность засух. Хотя

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.

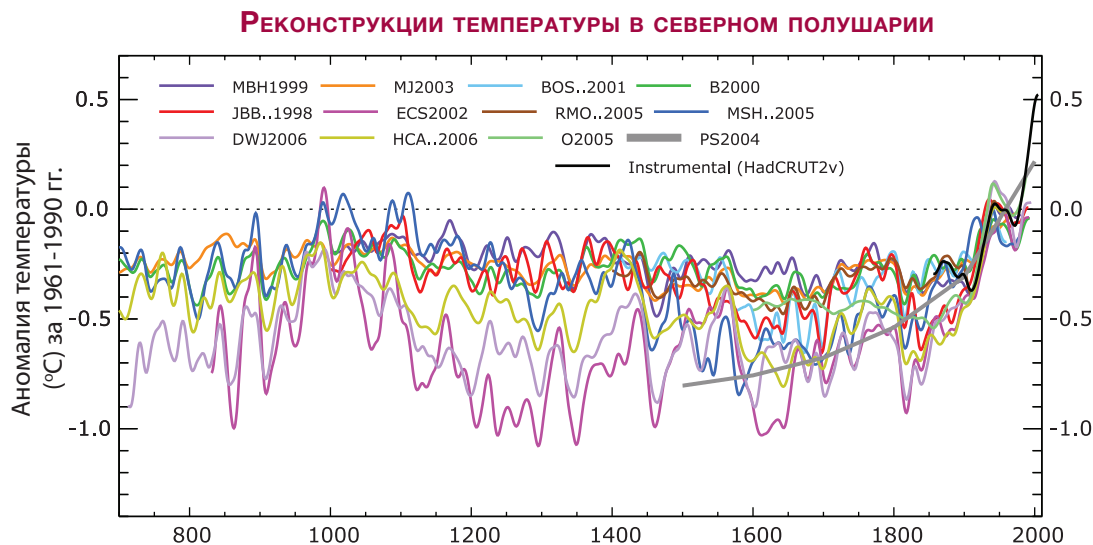


Вставка TS.5, рис. 1. Схема, иллюстрирующая влияние повышения средней температуры на температурные экстремумы при нормальном температурном распределении.

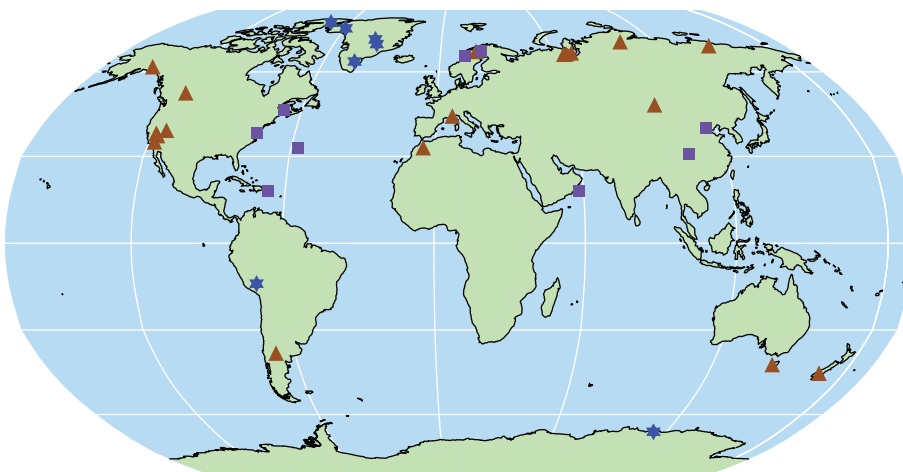
Во Втором докладе МГЭИК об оценках отмечалось, что данные и анализ экстремумов, связанных с изменением климата, немногочисленны. Ко времени выхода ТДО стал возможным улучшенный мониторинг и появились более качественные данные об изменениях в экстремумах, и модели климата анализировались на предмет получения 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

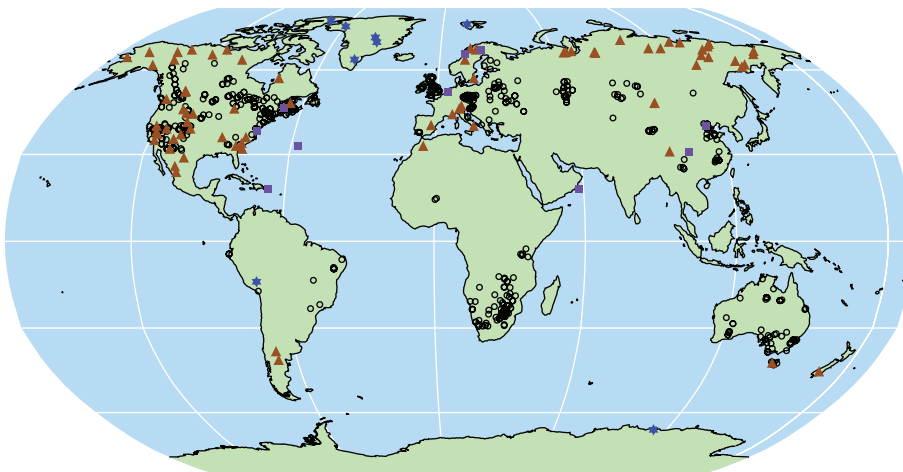
засух в значительной степени согласуются с ожидаемыми изменениями в гидрологическом



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 (поэтому 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 наклонением 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 (циклов 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 внутриводной 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

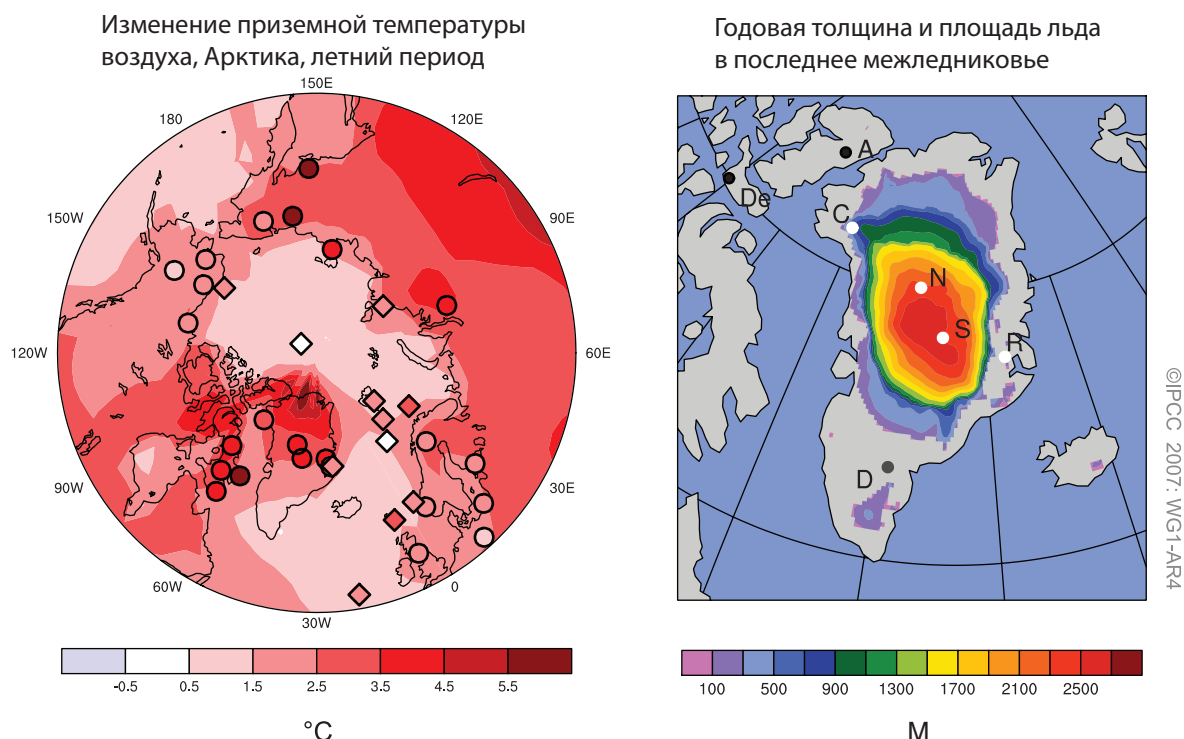


Рис. TS.21. Изменение приземной температуры воздуха в летний период по сравнению с настоящим временем над Арктикой (слева), толщина и площадь льда в Гренландии и на западных арктических ледниках (справа) в последнем межледниковье, приблизительно 125 тыс. лет назад; получено путем синтеза данных множества 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 Проджек (N), Саммит (S, GRIP и GISP2) и, возможно, Кэмп Сенчер (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 долгосрочном 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

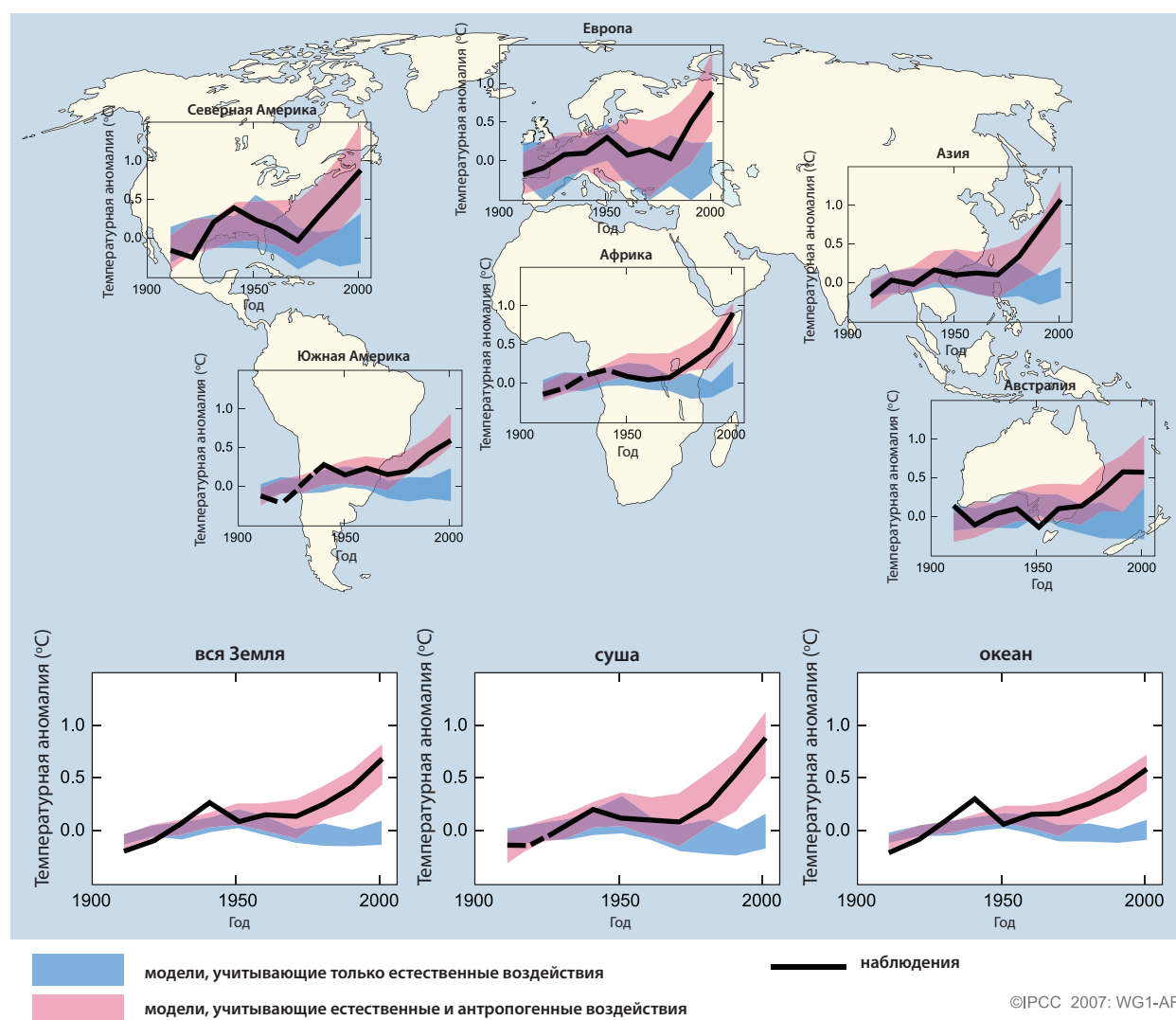


Рис. TS.22. Сравнение наблюдаемых изменений приземной температуры континентального и глобального масштабов; результаты получены с помощью моделей климата, учитывающих естественные и антропогенные воздействия. Десятилетние средние значения наблюдений показаны за период 1906-2005 гг. (черная линия); они 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 реакций 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

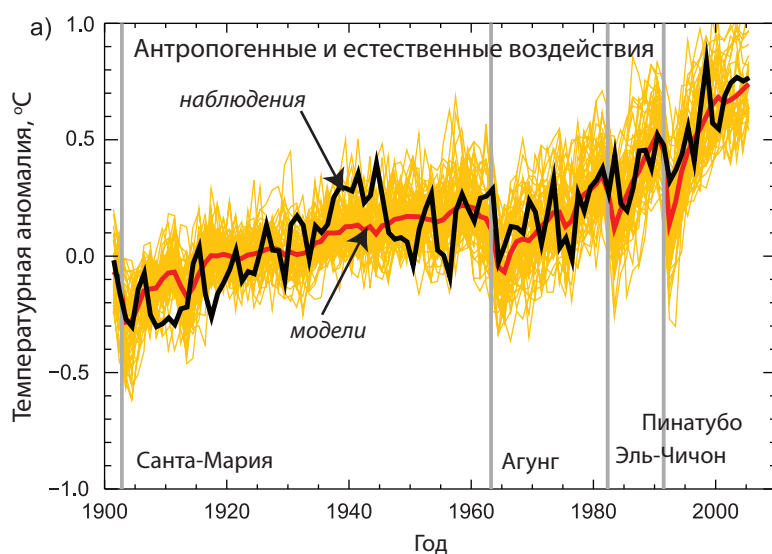
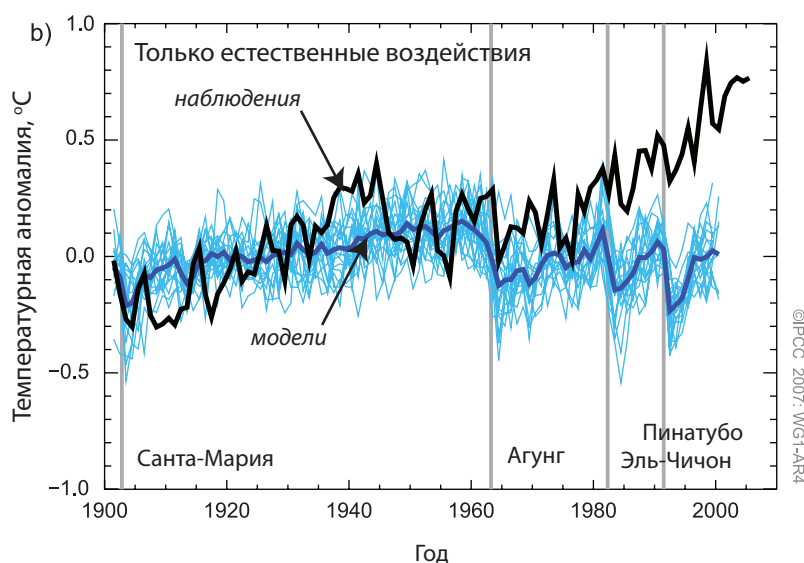


Рис. TS.23. (а) Аномалии глобальной средней приземной температуры за 1901-1950 гг. по наблюдениям (черная линия) и по результатам моделирования с учетом и антропогенных, и естественных воздействий. Толстая красная кривая показывает многомодельное среднее по ансамблю, а тонкие желтые линии – результаты 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 светлые синие линии – результаты отдельных моделей. Каждый случай моделирования отобран так, чтобы охват соответствовал охвату наблюдений



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

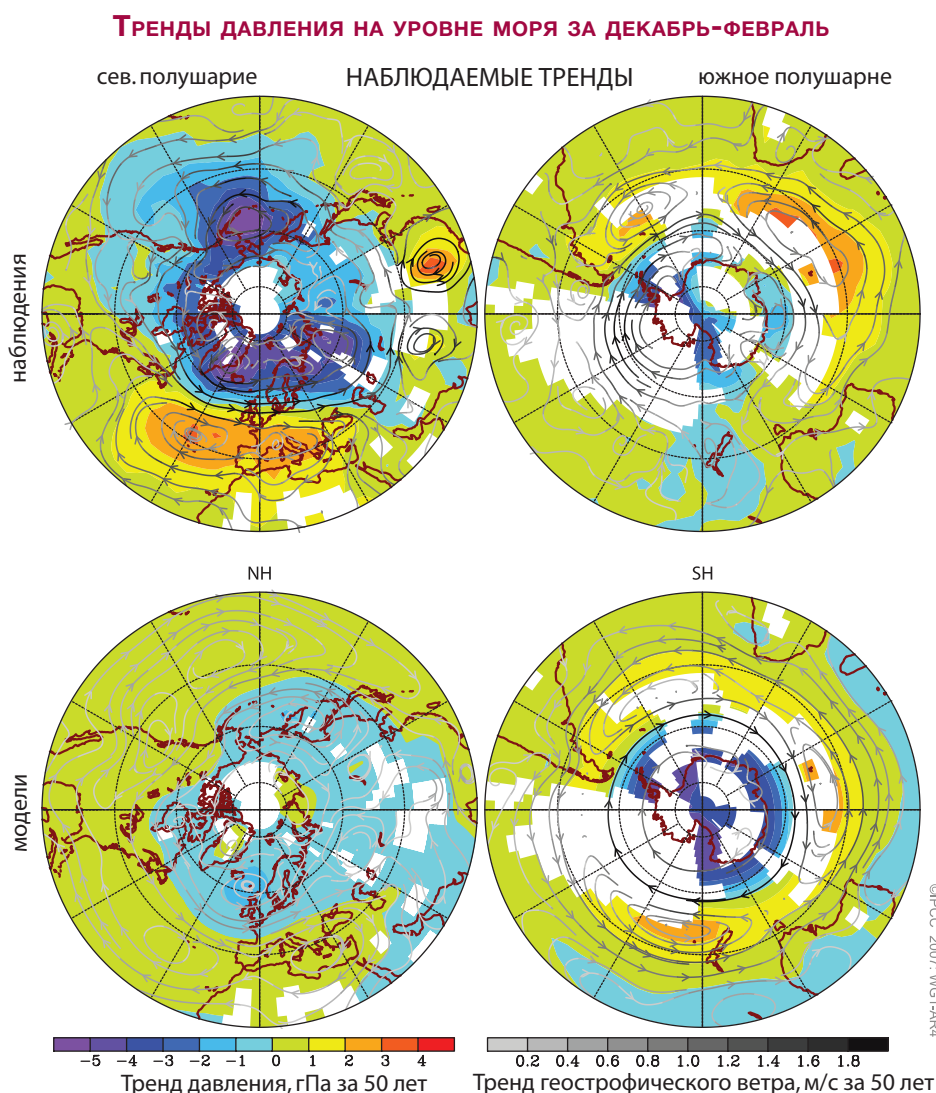


Рис. TS.24. Тренды давления на уровне моря за декабрь-февраль, построенные по десятилетним средним значениям за период 1955-2005 гг. (Вверху) Тренды, рассчитанные по данным наблюдений и показанные для регионов, где есть охват наблюдениями. (Внизу). Средние тренды, смоделированные в ответ на изменения 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, очевидному 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,

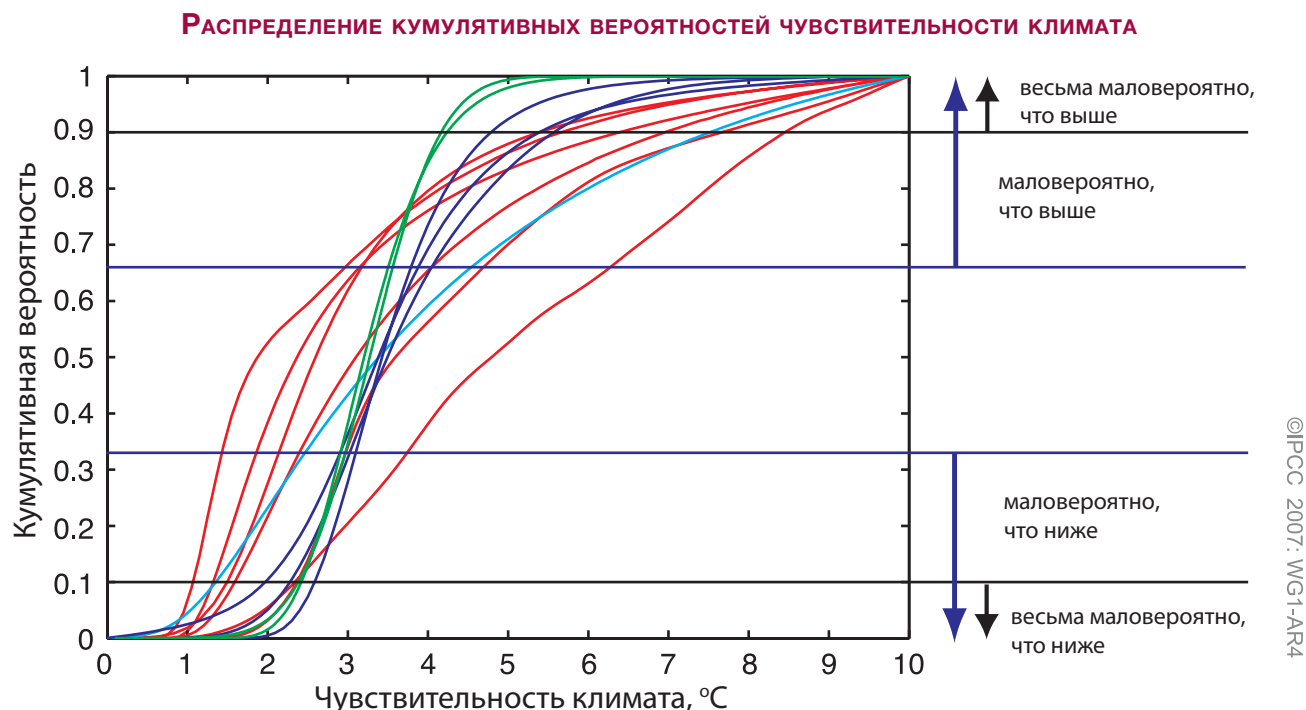


Рис. TS.25. Распределение кумулятивных вероятностей чувствительности климата, выведенное из наблюдаемого потепления за XX век (красный), модельной климатологии (синий), косвенных источников (голубой), чувствительности климата по МОЦАО (зеленый). Горизонтальные линии и стрелки обозначают границы оценок 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

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}

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

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 до 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 НАБЛЮДАЕНИЯМИ

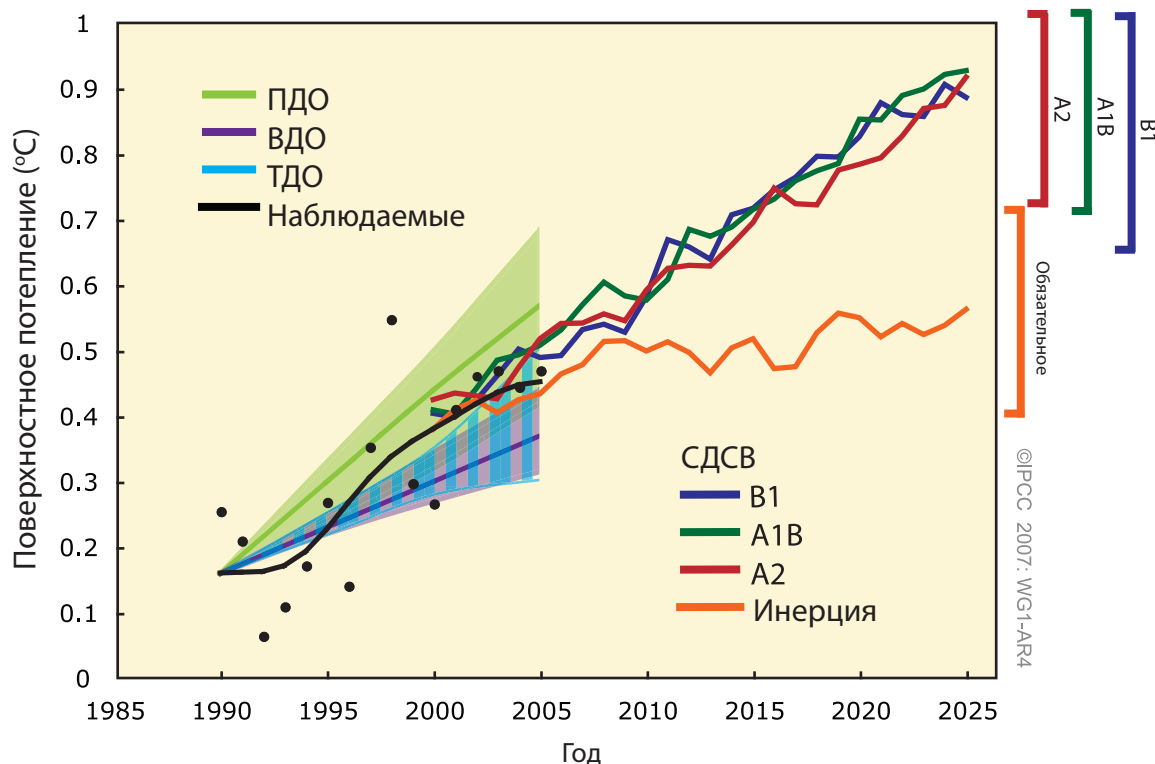


Рис. TS.26. Модельные проекции глобального среднего потепления по сравнению с наблюдаемым потеплением. Наблюдаемые температурные аномалии, как на рис. TS.6, показаны как годовые (черные точки) и десятилетние средние значения (черная линия). Проекция трендов и их диапазонов из Первого (PDO) и Второго (VDO) докладов МГЭИК об оценках показаны зеленой и фиолетовой сплошными линиями и закрашенными участками, а проекция диапазона из TDO – 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 PDO и VDO, показали повышение глобальной средней температуры соответственно приблизительно на 0,3°C и 0,15°C за десятилетие.¹⁰ Разница между двумя этими проекциями была вызвана, главным образом, включением в VDO

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 B1	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
Сценарий A1T	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
Сценарий B2	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
Сценарий A1B	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
Сценарий A2	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
Сценарий A1FI	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 A1B для ансамбля МОЦАО, скорость теплового расширения проецируется на уровне 1,3±0,7 мм/год и не отличается значительно от сценариев A2 и B1. 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 B1, A1 T, B2, A1 B, A2 и A1 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

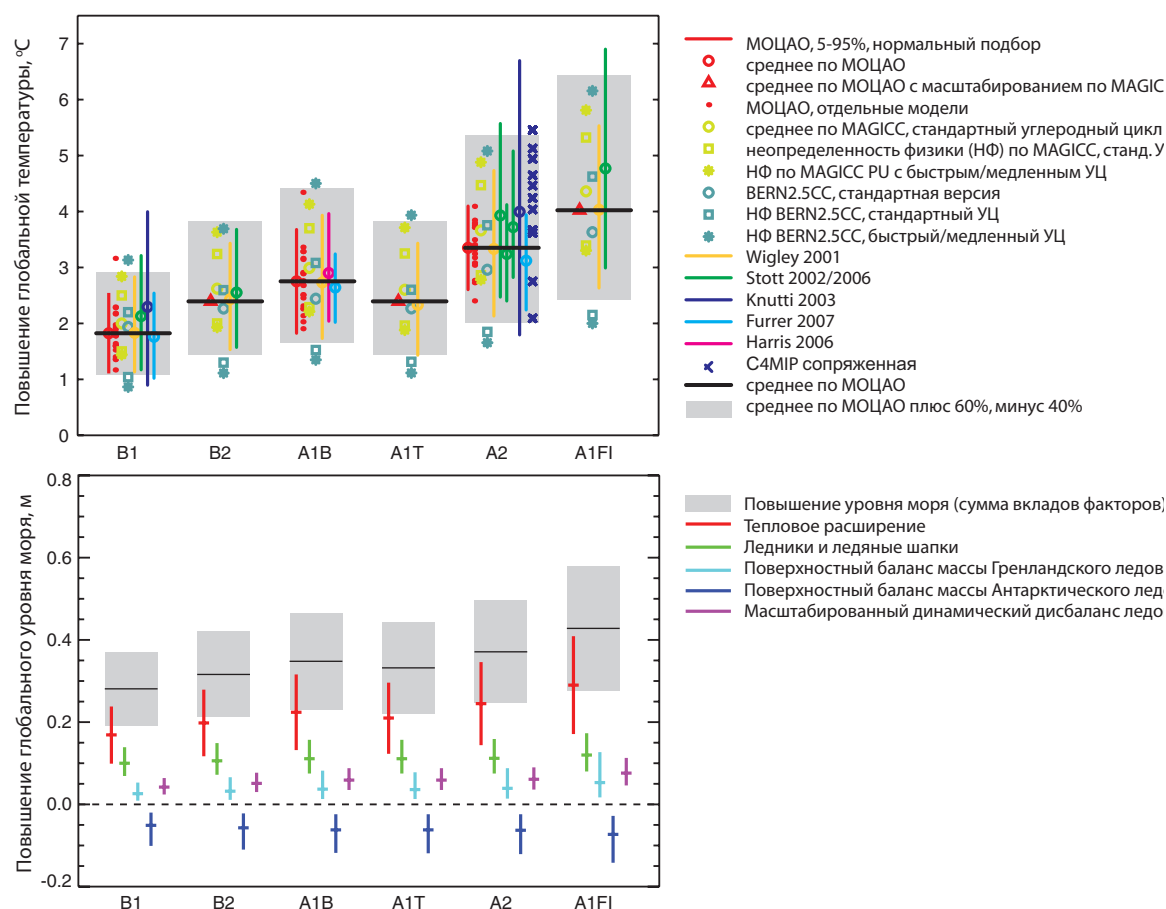


Рис. TS.27. (Вверху) Проекция изменений глобальной средней температуры в 2090-2099 гг. относительно 1980-1999 гг. по шести сигнальным сценариям СДСВ на основе результатов разных и независимых моделей. Многомодельное среднее значение по МОЦАО и диапазон среднего минус 40% плюс 60% показаны соответственно сплошными черными горизонтальными линиями. Неопределенности углеродного цикла оценены для сценария A2 на основе моделей Проекта сравнения сопряженных моделей углеродного цикла и климата (C4MIP) (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 A2 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 B1, 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

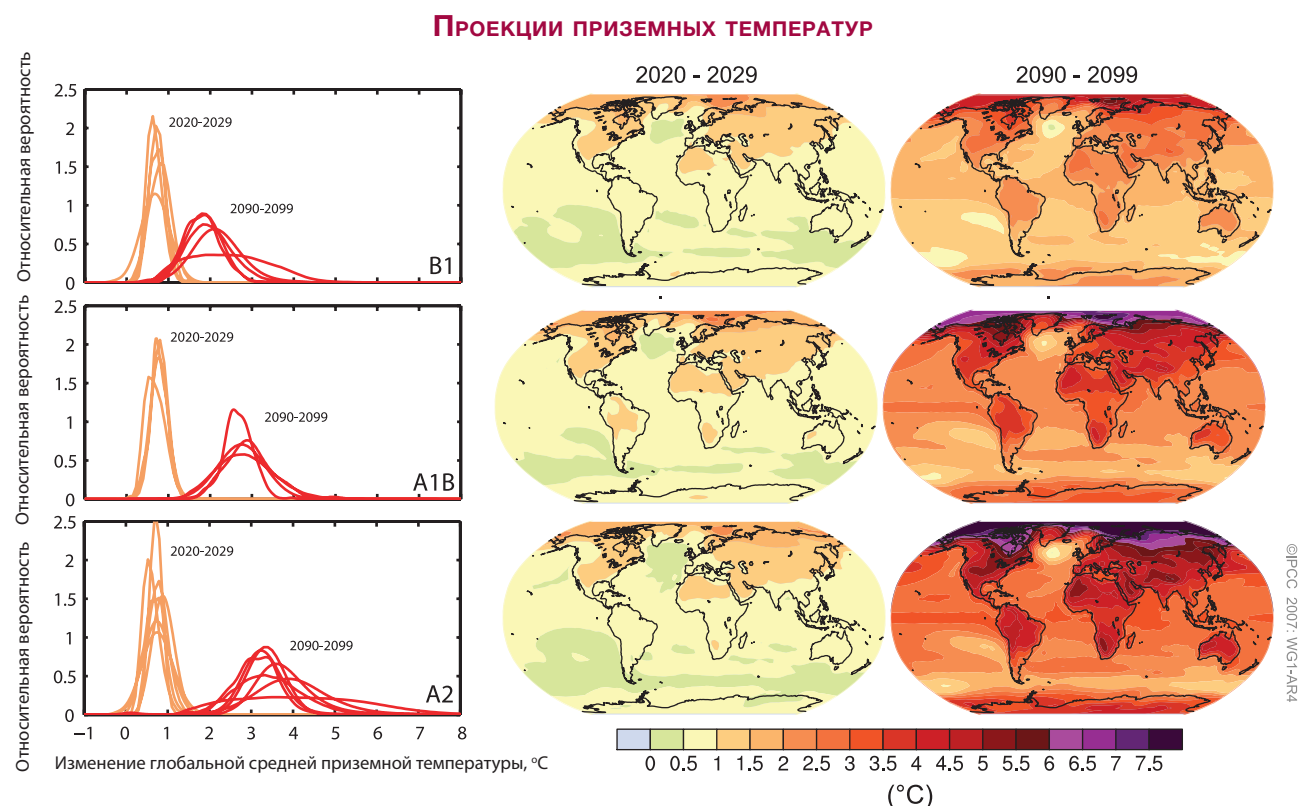


Рис. TS.28. Проекция изменений приземных температур на начало и конец XXI века относительно периода 1980-1999 гг. В центральной и правой частях показаны многомодельные средние прогнозы по МОЦАО (°C) для сценариев СДСВ B1 (вверху), A1B (в середине) и A2 (внизу), усредненные по десятилетиям 2020-2029 гг. (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 превзойдет 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}

Проекция 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 A1B. 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 перцентилем 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 разрешающаяся 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-альбедо» 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

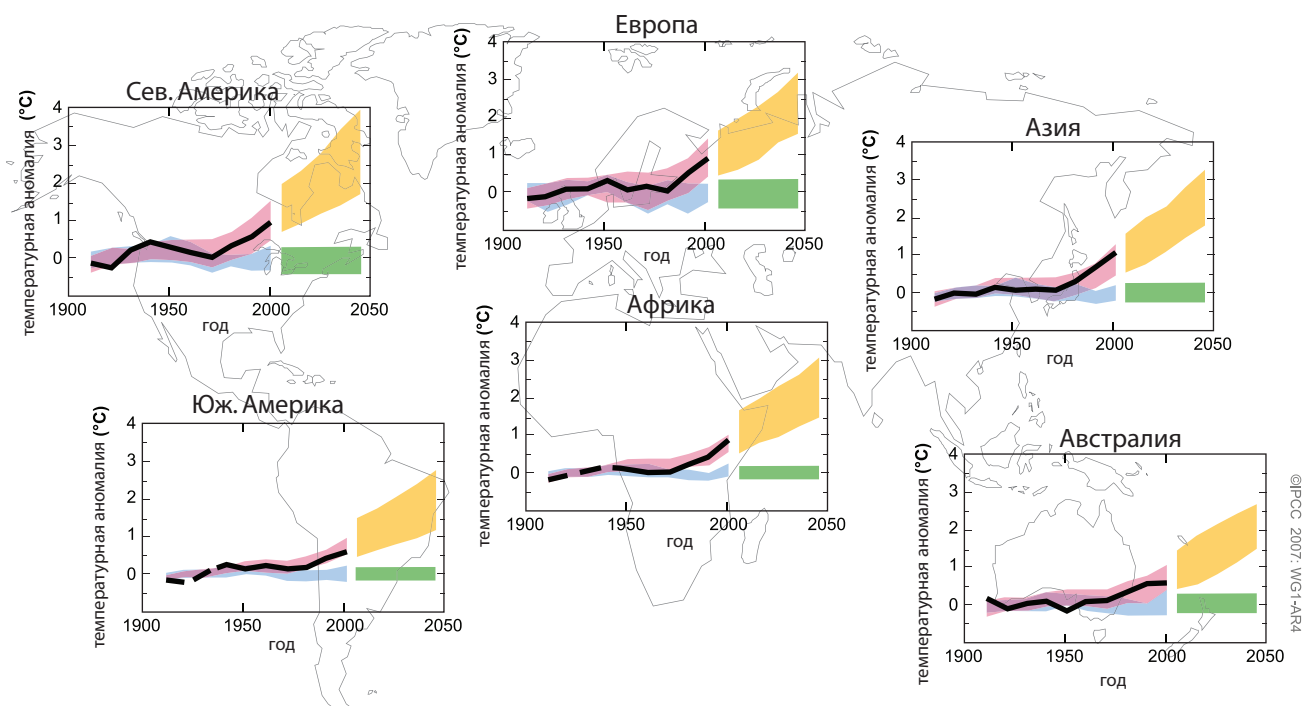
масштабе, что и глобальное потепление. Площадь антарктического морского льда в XXI веке, согласно проекциям, также сократится. {8.6, 10.3, вставка 10.1}

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



Модели, использующие только естественное воздействие
 Проекция изменений (сценарий A1B)
 Наблюдения

Модели, использующие и антропогенное, и естественное воздействие
 Диапазон аномалий только с естественным воздействием в моделях 20-го века

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 перцентилей по сценарию выбросов СДСВ A1B. 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 A1B 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 засухливости 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

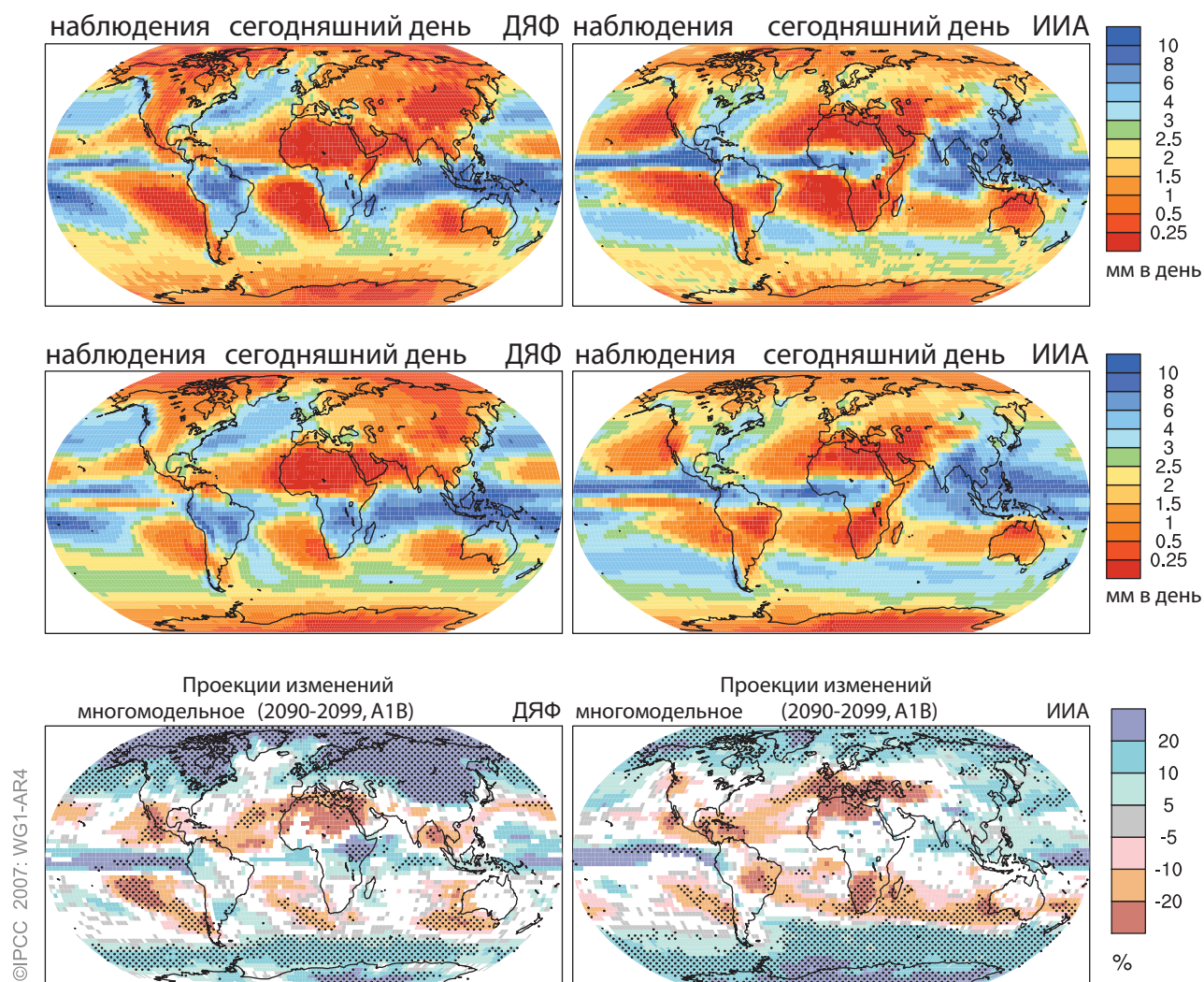


Рис. TS.30. Пространственные профили наблюдаемого (верхний ряд) и многомодельного среднего (средний ряд) сезонного среднего количества осадков (мм/день) за период 1979-1993 гг. и многомодельное среднее значение изменений к периоду 2090-2099 гг. относительно 1980-1999 гг. (% изменения) на основе сценария СДСВ A1B (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 сушь, 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 сушь, 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 неопределенна, 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 сушей 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 разнится 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 А2 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

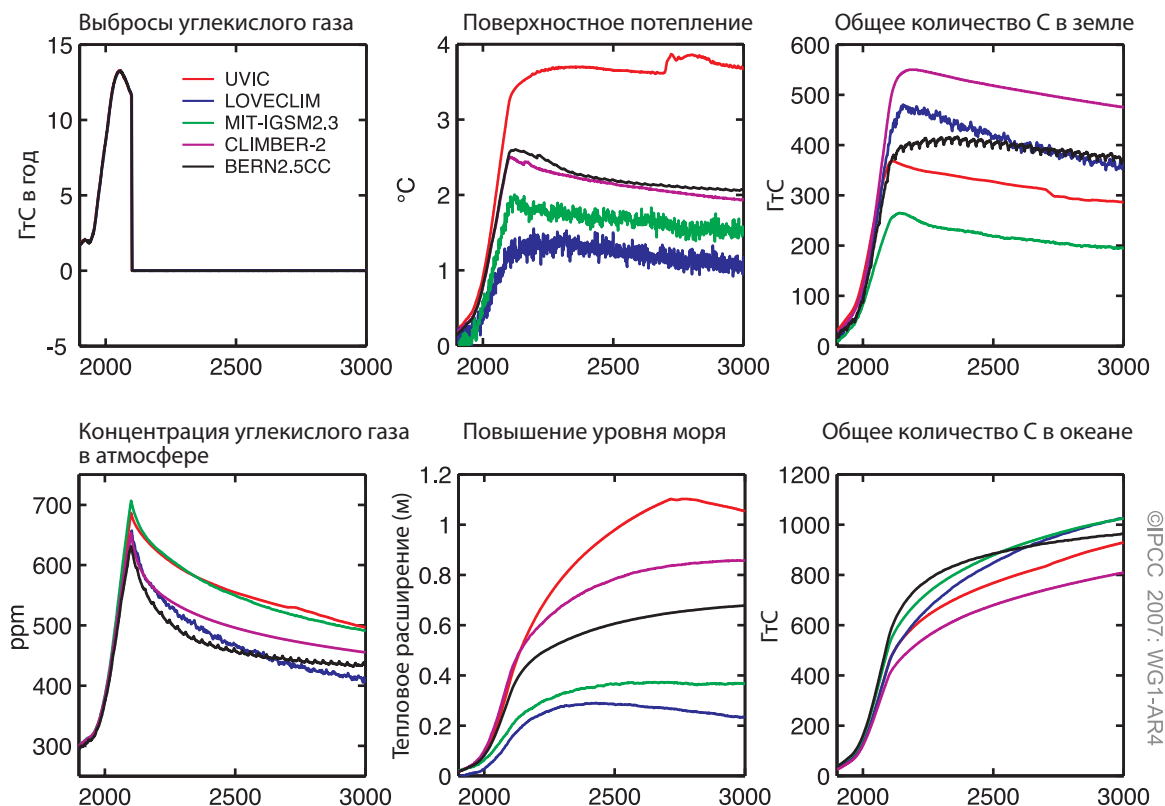


Рис. TS.31. Расчет инерции изменения климата вследствие прошлых выбросов для пяти разных МЗСПС и идеализированного сценария, где выбросы следуют по сценарию, который ведет к стабилизации CO_2 в атмосфере на уровне 750 ppm, однако перед достижением этой цели выбросы в 2100 году мгновенно снижаются до 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 непосредственное 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. Признаком 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

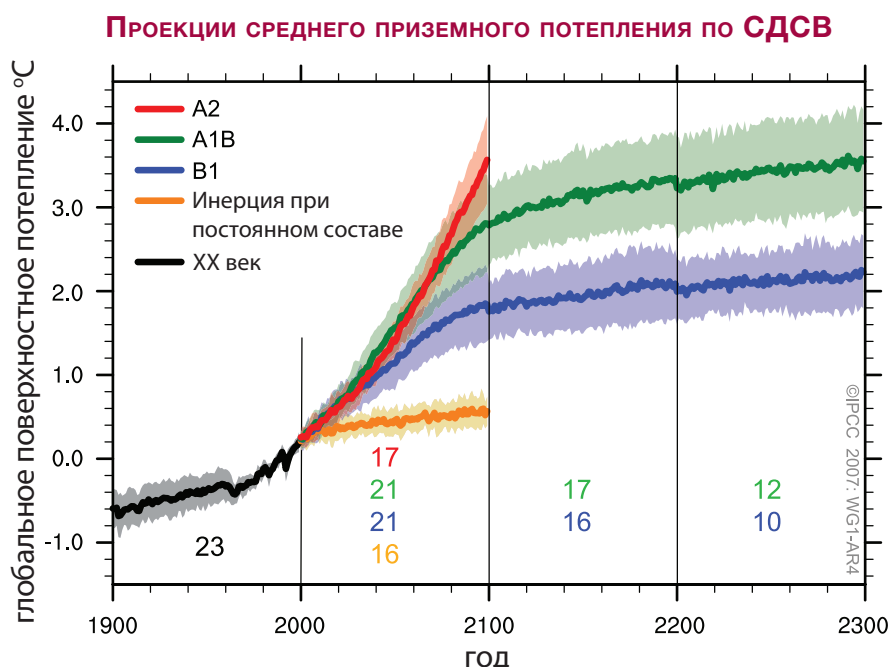


Рис. TS.32. Многомодельные средние значения приземного потепления (по сравнению с базовым периодом 1980-1999 гг.) для сценариев СДСВ A2 (красный), A1B (зеленый) и B1 (синий), показанные как продолжения моделирования на XX век. Последние два сценария продолжают за 2100 год при постоянном воздействии (инерция 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 прекурсоров озона, 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 $0,5\text{--}0,6^\circ\text{C}$, 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 $0,6^{\circ}\text{C}$ 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 $0,5^{\circ}\text{C}$, 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 CO_2 , необходимой для достижения конкретного уровня стабилизации концентрации CO_2 в воздухе. На основе нынешнего понимания обратной связи между климатом и углеродным циклом, модельные исследования показывают, что с целью стабилизации концентрации CO_2 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 CO_2 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-

$4,6^{\circ}\text{C}$ 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 ускорилось, 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 межледникового, 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 засушливости 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}