



МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ ГРУППА ЭКСПЕРТОВ  
ПО ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА



# Изменение климата, 2001 г.: *Научные аспекты*

Резюме для лиц, определяющих политику

*и*

Техническое резюме  
доклада рабочей группы I

*Вклад рабочей группы I в Третий доклад об оценках Межправительственной  
группы экспертов по изменению климата*

---

---



# Содержание

---

Вступление .....	v
Предисловие .....	vii
<b>РЕЗЮМЕ ДЛЯ ЛИЦ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОЛИТИКУ</b> .....	1
Источник информации: Резюме для лиц, определяющих политику .....	19
<b>ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕЗЮМЕ</b> .....	21
<b>A. Введение</b> .....	23
A.1 МГЭИК и ее рабочие группы .....	23
A.2 Первый и Второй доклады об оценках рабочей группы I .....	23
A.3 Третий доклад об оценках: настоящее Техническое резюме .....	25
<b>B. Наблюдаемые изменения в климатической системе</b> .....	26
B.1 Наблюдаемые изменения в температуре .....	27
B.2 Наблюдаемые изменения в количестве атмосферных осадков и во влажности атмосферы .....	30
B.3 Наблюдаемые изменения в протяженности снежного покрова и материкового и морского льда .....	31
B.4 Наблюдаемые изменения в уровне моря .....	31
B.5 Наблюдаемые изменения в структурах атмосферной и океанической циркуляции .....	33
B.6 Наблюдаемые изменения в изменчивости климата и в экстремальных метеорологических и климатических явлениях .....	34
B.7 Обобщенная картина: потепление на земном шаре и другие изменения в климатической системе .....	34
<b>C. Воздействующие факторы, вызывающие изменение климата</b> .....	36
C.1 Наблюдаемые изменения в концентрациях полностью перемешанных в глобальном масштабе парниковых газов и в радиационном воздействии .....	38
C.2 Наблюдаемые изменения в других радиационно значимых газах .....	44
C.3 Наблюдаемые и смоделированные изменения в аэрозолях .....	46
C.4 Наблюдаемые изменения в других антропогенных воздействующих факторах .....	47
C.5 Наблюдаемые и смоделированные изменения в солнечной и вулканической активности .....	47
C.6 Возможности глобального потепления .....	47
<b>D. Моделирование климатической системы и ее изменений</b> .....	47
D.1 Климатические процессы и обратные связи .....	49
D.2 Совмещенные системы .....	53
D.3 Методы районирования .....	55
D.4 Общая оценка способностей .....	55
<b>E. Обнаружение влияния деятельности человека на изменение климата</b> .....	56
E.1 Значение обнаружения и объяснения .....	57
E.2 Более продолжительная и более тщательная проверка зарегистрированных данных наблюдений .....	57
E.3 Новые модельные оценки внутренней изменчивости .....	57
E.4 Новые оценки реакций на естественное воздействие .....	58

E.5	Чувствительность к оценкам проявлений изменения климата .....	58
E.6	Более широкий диапазон методов обнаружения .....	59
E.7	Остающиеся неопределенности в обнаружении и объяснении .....	61
E.8	Резюме .....	61
<b>F. Перспективные оценки будущего климата Земли .....</b>		<b>61</b>
F.1	Специальный доклад МГЭИК о сценариях выбросов (СДСВ) .....	61
F.2	Перспективные оценки будущих изменений в концентрациях парниковых газов и аэрозолей .....	64
F.3	Перспективные оценки будущих изменений температуры .....	66
F.4	Перспективные оценки будущих изменений осадков .....	70
F.5	Перспективные оценки будущих изменений в экстремальных явлениях .....	70
F.6	Перспективные оценки будущих изменений в термогалинной циркуляции .....	72
F.7	Перспективные оценки будущих изменений в моделях естественной изменчивости .....	73
F.8	Перспективные оценки будущих изменений материкового льда (ледников, ледниковых куполов и ледовых щитов), морского льда и снежного покрова .....	74
F.9	Перспективные оценки будущих изменений уровня моря .....	75
F.10	Перспективные оценки будущих изменений реагирования на профили стабилизации концентрации CO <sub>2</sub> .....	75
<b>G. Как содействовать лучшему пониманию .....</b>		<b>77</b>
G.1	Данные .....	78
G.2	Климатические процессы и моделирование .....	78
G.3	Гуманитарные аспекты .....	80
G.4	Международная рамочная основа .....	80
<b>Источник информации: Техническое резюме .....</b>		<b>81</b>
<b>Глоссарий .....</b>		<b>85</b>
<b>Перечень основных докладов МГЭИК .....</b>		<b>99</b>

# Вступление

---

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) была учреждена совместно Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО) и Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) в 1988 г. В круг ее обязанностей входят: (i) оценка имеющейся научной и социально-экономической информации об изменении климата и его воздействиях и о вариантах мер по смягчению последствий изменения климата и адаптации к нему; и (ii) обеспечение, по запросам, научных/технических/социально-экономических консультаций для Конференции Сторон (КС) Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН). Начиная с 1990 г. МГЭИК подготовила ряд докладов об оценках, специальных докладов, технических документов, методологий и другой продукции, которые стали стандартными справочными материалами, широко используемыми лицами, определяющими политику, учеными и другими специалистами.

Настоящий том, который является частью Третьего доклада об оценках (ТДО), был подготовлен рабочей группой I (РГ I) МГЭИК и посвящен научным аспектам проблемы изменения климата. Он состоит из 14 глав, охватывающих физическую климатическую систему, факторы, вызывающие изменение климата, анализы климата в прошлом и прогнозы изменения климата в будущем, а также обнаружение влияния деятельности человека на климат в последнее время и объяснение его изменения этим фактором.

Как обычно, в рамках деятельности МГЭИК успех подготовки настоящего доклада зависел прежде и больше всего от

знаний, энтузиазма и сотрудничества многих сотен экспертов, работающих по многим родственным, хотя и различным дисциплинам, по всему миру. Мы хотели бы выразить свою благодарность всем ведущим авторам-координаторам, ведущим авторам, специалистам, представившим материалы, редакторам-рецензентам и рецензентам. Эти лица посвятили очень много своего времени и усилий подготовке настоящего доклада, и мы чрезвычайно благодарны им за их вклад в работу МГЭИК. Нам хотелось бы поблагодарить персонал группы технической поддержки РГ I и секретариата МГЭИК за его усилия по координации подготовки еще одного успешного доклада МГЭИК. Мы также благодарны правительствам, которые оказали поддержку ученым своих стран в их работе на пользу МГЭИК и которые внесли вклады в Целевой фонд МГЭИК для обеспечения чрезвычайно важного участия экспертов из развивающихся стран и стран с переходной экономикой. Нам хотелось бы выразить нашу признательность правительствам Франции, Танзании, Новой Зеландии и Канады, организовавшим проведение в своих странах редакционных сессий; правительству Китая, организовавшему проведение в Шанхае заключительной сессии рабочей группы I; и правительству Соединенного Королевства, финансировавшему работу группы технической поддержки РГ I.

Мы хотели бы особенно поблагодарить д-ра Роберта Уотсона, председателя МГЭИК, за его компетентное, неустанное и умелое руководство МГЭИК, а также сэра Джона Хоутона и проф. Дина Ихуэя, сопредседателей рабочей группы I, за их умелое руководство рабочей группой I в ходе подготовки настоящего доклада.

## Г. О. П. Обаси

Генеральный секретарь  
Всемирная Метеорологическая Организация

## К. Тепфер

Исполнительный директор  
Программа Организации Объединенных Наций по  
окружающей среде  
и  
Генеральный директор  
Бюро Организации Объединенных Наций в Найроби



# Предисловие

Настоящий доклад является первой полной оценкой научных аспектов проблемы изменения климата с момента выпуска рабочей группой I (РГ I) МГЭИК в 1996 г. ее Второго доклада «Изменение климата, 1995 г.: Научные аспекты проблемы изменения климата». В настоящем докладе представлена в расширенном и обновленном виде информация, содержащаяся в указанном выше докладе и в предшествовавших ему докладах, однако главным образом он посвящен оценке новой информации и результатов научных исследований, полученных в последние пять лет. В настоящем докладе анализируется огромный объем данных наблюдений за всеми частями климатической системы и делается вывод о том, что все эти данные наблюдений дают общую картину потепления на земном шаре. В докладе сообщается о возрастающих концентрациях парниковых газов в атмосфере и оцениваются воздействия этих газов и атмосферных аэрозолей на изменения радиационного баланса системы «Земля-атмосфера». В докладе дается оценка знаний о тех процессах, которые управляют климатической системой, и на основе рассмотрения того, насколько хорошо новое поколение моделей климата представляет эти процессы, определяется приемлемость этих моделей для прогнозирования изменения климата в будущем. Подробно исследуется вопрос о влиянии деятельности человека на климат и о том, можно ли с большей степенью достоверности, чем в 1996 г., определить это влияние; при этом делается вывод, что новые, более убедительные свидетельства подтверждают, что большая часть наблюдаемого потепления в последние 50 лет объясняется именно деятельностью человека. Представлены прогнозы в отношении изменения климата в будущем с использованием широкого диапазона сценариев будущих выбросов парниковых газов и аэрозолей. Согласно прогнозам в рамках всех изученных сценариев как температура, так и уровень моря, будут в XXI столетии продолжать повышаться. И наконец, в докладе рассматривается вопрос о все еще остающихся пробелах в информации и знаниях и о том, каким образом можно устранить эти пробелы.

Настоящий доклад о научных аспектах проблемы изменения климата является первой частью Третьего доклада об оценках (ТДО) МГЭИК под названием «Изменение климата, 2001 г.». Другие входящие в этот комплект докладов об оценках тома были подготовлены рабочей группой II («Воздействия, адаптация и уязвимость») и рабочей группой III («Смягчение последствий»). Важная цель ТДО заключается в представлении объективной информации, на основе которой можно было бы принимать такие меры политики в отношении изменения климата, которые позволили бы достичь цели РКИК, выраженной в ее статье 2 и заключающейся в стабилизации концентраций парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую

систему. Для дальнейшего содействия достижению этой цели в качестве составной части ТДО подготавливается Синтезирующий доклад, в котором будет объединена научная и социально-экономическая информация из докладов рабочих групп, относящаяся к девяти вопросам, посвященным конкретным мерам политики, направленным на достижение цели РКИК.

Настоящий доклад был подготовлен в период между июлем 1998 г. и январем 2001 г. коллективом из 122 ведущих авторов. Кроме того, в его подготовке приняли участие 515 специалистов, представивших ведущим авторам свои материалы в виде проектов текстов и информации. Проект настоящего доклада был распространен среди специалистов для рецензирования, и 420 рецензентов представили ценные предложения по совершенствованию доклада. Затем он был представлен правительствам и экспертам для редактирования, благодаря чему в работе приняли участие еще несколько сотен рецензентов. Все полученные замечания были тщательно проанализированы и сведены в единый отредактированный документ для рассмотрения на сессии рабочей группы I, которая прошла в Шанхае с 17 по 20 января 2001 г. На этой сессии в подробностях было одобрено Резюме для лиц, определяющих политику, и принят основополагающий доклад.

Энергичные усилия были предприняты для того, чтобы максимально облегчить пользование этим докладом. Как и в 1996 г., доклад содержит, в дополнение к основным главам, Резюме для лиц, определяющих политику (РП), и Техническое резюме (ТР) (все в одном томе). РП и ТР имеют одинаковую схему построения, с тем чтобы в случае заинтересованности какими-либо вопросами, включенными в РП, их можно было легко найти и в ТР. В свою очередь, каждый раздел РП и ТР был соотнесен с надлежащим разделом соответствующей главы путем указания источника информации; так что с любым материалом, содержащимся в РП и ТР, можно легко ознакомиться более подробно в соответствующих главах. К концу 2001 г. можно будет проводить более подробный поиск в рамках электронной версии настоящего доклада, который можно будет найти на Web-сайте по адресу — <http://www.ipcc.ch>.

Нам хотелось бы выразить глубокую признательность всем ведущим авторам-координаторам, ведущим авторам и редакторам-рецензентам, опыт, старания и упорный труд которых способствовали успешному завершению работы над настоящим докладом, а также многим специалистам, представившим материалы, и рецензентам за проделанную ими ценную и трудоемкую работу. Мы выражаем благодарность г-дам Джину Жузело, Эрвэ Ле Троту, Бурухани Ниензи, Джиму Сэлэнджеру, Джону Стоуну и Фрэнсису Звиерсу за их помощь в организации проведения редакционных совещаний; а также г-ну Ван Цайфану за его

помощь в организации проведения сессии рабочей группы I в Шанхае в период с 17 по 20 января 2001 г.

Мы хотели бы также поблагодарить членов бюро рабочей группы I г-д Бурухани Ниензи, Армандо Ромиреса-Роеса, Джона Стоуна, Джона Зиллмана и Фортюнато Жуса за их квалифицированные советы и рекомендации в ходе подготовки настоящего доклада.

Особую благодарность мы хотели бы выразить Дэйву Григсу, Марии Ногуэр, Полю ван дер Линдену, Кэти Маскелл, Сяосу Даю, Кэти Джонсон, Анн Мюриль и Дэвиду Холту из группы технической поддержки рабочей группы I, работавших при дополнительной помощи со стороны Элисон Реншоу, за их постоянную и вдохновляющую поддержку в течение всего процесса подготовки настоящего доклада. Нам хотелось бы также поблагодарить Наракхмана Сундарарамана, секретаря

МГЭИК, Ренату Крист, заместителя секретаря, и персонал секретариата МГЭИК, Руди Буржуа, Шанталь Этори и Анни Куртан, которые обеспечивали материально-техническую поддержку для связи с правительствами и обеспечения командировок экспертов из развивающихся стран и стран с переходной экономикой.

**Роберт Уотсон**, председатель МГЭИК

**Джон Хоутон**, сопредседатель РГ I МГЭИК

**Дин Ихуэй**, сопредседатель РГ I МГЭИК

---

# РЕЗЮМЕ ДЛЯ ЛИЦ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОЛИТИКУ

## Изменение климата, 2001 г.: Научные аспекты

---

### *Доклад рабочей группы I Межправительственной группы экспертов по изменению климата*

Основан на проекте, подготовленном следующими авторами:

*Даниэль Л. Олбриттон, Майлс Р. Аллен, Альфонс П. М.Баеде, Джон А. Черч, Ульрих Кубаиш, Дай Сяосу, Дин Ихуэй, Дитер Х. Эххалт, Кристофер К Фолланд, Филиппо Джорджи, Джонатан М. Грегори, Дэвид Дж. Григгс, Джим М. Хейвуд, Брюс Хьюитсон, Джон Т. Хоутон, Джоанна И. Хаус, Мишель Хаем, Айвар Изаксен, Виктор Дж. Джерамилло, Акутан Джейараман, Катрин А. Джонсон, Фортюнат Джоос, Сильви Джассам, Томас Карл, Дэвид Дж. Кароль, Харун С. Кешги, Коррин Ле Кер, Кэти Маскел, Луис Дж. Мата, Бриан Дж. Мак-Авени, Мэк Мак-Фарланд, Линда О. Мирнс, Джеральд А. Михл, Л. Гилван Мейра-Фило, Валентин П. Мелешко, Джон Ф. Б. Митчелл, Берьен Мур, Рекард К. Мугара, Мария Ногуэр, Бурухани С. Ньенци, Микаэл Оппенгеймер, Джойс И. Пеннер, Стивен Поллоне, Мишель Пратер, И. Колин Прентис, Венкатчала Рамасвами, Армандо Рамирез-Ройяс, Сара К. Б. Рейпер, М. Джим Сэленджер, Роберт Дж. Шолес, Сюзан Соломон, Томас Ф. Стокер, Джон В. Р. Стоун, Рональд Дж. Стоуфер, Кевин И. Тренберт, Мин-Син Ван, Роберт Т. Уотсон, Кок С. Яп, Джон Зиллман, с учетом материалов, представленных многими авторами и рецензентами.*



### Резюме для лиц, определяющих политику

Третий доклад об оценках рабочей группы I Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) основан на прошлых оценках и на новых результатах, полученных в ходе проводившихся в течение последних пяти лет научных исследований изменения климата<sup>1</sup>. В подготовке настоящего доклада и его редактировании приняли участие многие сотни ученых<sup>2</sup> из многих стран.

В настоящем Резюме для лиц, определяющих политику (РП), которое было одобрено правительствами членов МГЭИК в Шанхае в январе 2001 г.<sup>3</sup>, описывается современное состояние знаний о климатической системе и даются оценки ее прогнозируемой эволюции в будущем и связанных с этим неопределенностей. С более подробными сведениями об этом можно ознакомиться в основополагающем докладе, а добавленные указания на источники информации обеспечивают перекрестные ссылки на главы доклада.

### Все возрастающий объем данных наблюдений дает обобщенную картину потепления на земном шаре и других изменений в климатической системе.

В период после выпуска Второго доклада об оценках (ВДО<sup>4</sup>) благодаря дополнительным данным из новых исследований современного климата и палеоклимата, усовершенствованному анализу комплектов данных, более тщательной оценке их качества и сравнениям данных из разных источников удалось достичь лучшего понимания явления изменения климата.

### Глобальная средняя приземная температура повысилась в течение XX столетия примерно на 0,6 °С.

- Глобальная средняя приземная температура (среднее значение температуры воздуха около поверхности суши и температуры поверхности моря) в период после 1861 г. повышалась. В XX столетии это повышение составило 0,6±0,2 °С<sup>5,6</sup> (рисунок РП-1а). Это значение примерно на 0,15 °С больше, чем значение, оценочно определенное в ВДО, за период до 1994 г., что связано с сравнительно высокими температурами в дополнительно учитываемые годы (1995—2000 г.) и улучшением методов обработки данных. В этих цифрах учтены различные поправки, включая влияние городских островов тепла. Зарегистрированные данные демонстрируют наличие значительной изменчивости; например, потепление в XX столетии происходило большей частью в течение двух периодов: с 1910 г. по 1945 г. и с 1976 г. по 2000 г.
- В глобальном масштабе, весьма вероятно<sup>7</sup>, что в период с 1861 г. 1990-е годы были самым теплым десятилетием, а 1998 г. — самым теплым годом за всю историю приборных наблюдений (см. рисунок РП-1а).
- Новые анализы косвенных данных по северному полушарию свидетельствуют о том, что повышение

температуры в XX столетии, вероятно<sup>7</sup>, было самым значительным из всех столетий в течение последних 1000 лет. Вероятно<sup>7</sup> также, что в северном полушарии 1990-е годы были самым теплым десятилетием, а 1998 г. — самым теплым годом (рисунок РП-1б). Что касается среднегодовых значений в период, предшествовавший последним 1000 лет, и условий, преобладавших в большей части южного полушария до 1861 г., из-за недостатка данных о них известно меньше.

- В среднем в период между 1950 г. и 1993 г. суточная минимальная температура воздуха в ночное время над сушей увеличивалась примерно на 0,2 °С в десятилетие. Это примерно в два раза превышает темпы повышения суточной максимальной температуры воздуха в дневное время (0,1 °С в десятилетие). Такое явление способствовало продлению свободного от заморозков сезона во многих регионах в средних и высоких широтах. Увеличение температуры поверхности моря за этот же период было примерно на половину меньше, чем увеличение средней температуры приземного воздуха над сушей.

### Значения температуры в самых нижних 8 километрах атмосферы за последние четыре десятилетия повысились.

- В период с конца 1950-х годов (период проведения надлежащих наблюдений с метеорологических шаровозондов) общая глобальная температура в самых нижних 8 км атмосферы повысилась; при этом приземная температура повышалась на 0,1 °С в десятилетие.

<sup>1</sup> Понятие «изменение климата», которое использует МГЭИК, относится к любому происходящему в ходе времени изменению в климате независимо от того, вызывается ли оно естественной изменчивостью или деятельностью человека. Такое использование этого понятия отличается от его использования в Рамочной конвенции об изменении климата, где понятие «изменение климата» относится к изменению климата, которое объясняется прямым или косвенным воздействием деятельности человека, изменяющей состав глобальной атмосферы, и которое происходит в дополнение к естественной изменчивости климата, наблюдаемой в сопоставимые периоды времени.

<sup>2</sup> В целом 122 ведущих автора-координатора и ведущих авторов, 515 специалистов, представивших материалы, 21 редактор-рецензент и 420 экспертов-рецензентов.

<sup>3</sup> В работе восьмой сессии рабочей группы I, проходившей в Шанхае с 17 по 20 января 2001 г., приняли участие делегации 99 стран-членов МГЭИК.

<sup>4</sup> Второй доклад об оценках МГЭИК в настоящем Резюме для лиц, определяющих политику, обозначается как ВДО.

<sup>5</sup> Тренды температуры, как правило, округляются до ближайших 0,05 °С в единицу времени, при этом периоды времени часто бывают ограничены наличием данных.

<sup>6</sup> В общем используется уровень статистической значимости в 5 %, а уровень достоверности — в 95 %.

<sup>7</sup> В настоящем Резюме для лиц, определяющих политику, и в Техническом резюме для обозначения субъективных оценок степени достоверности используются, по мере приемлемости, следующие понятия: *практически достоверно* (вероятность более 99 % того, что результат является правильным); *весьма вероятно* (90—99 % вероятности); *вероятно* (66—90 % вероятности); *средняя вероятность* (33—66 % вероятности); *маловероятно* (10—33 % вероятности); *весьма маловероятно* (1—10 % вероятности); *исключительно маловероятно* (вероятность менее 1 %). С более подробными сведениями читатель может ознакомиться в соответствующих отдельных главах.

## Колебания температуры на поверхности Земли:

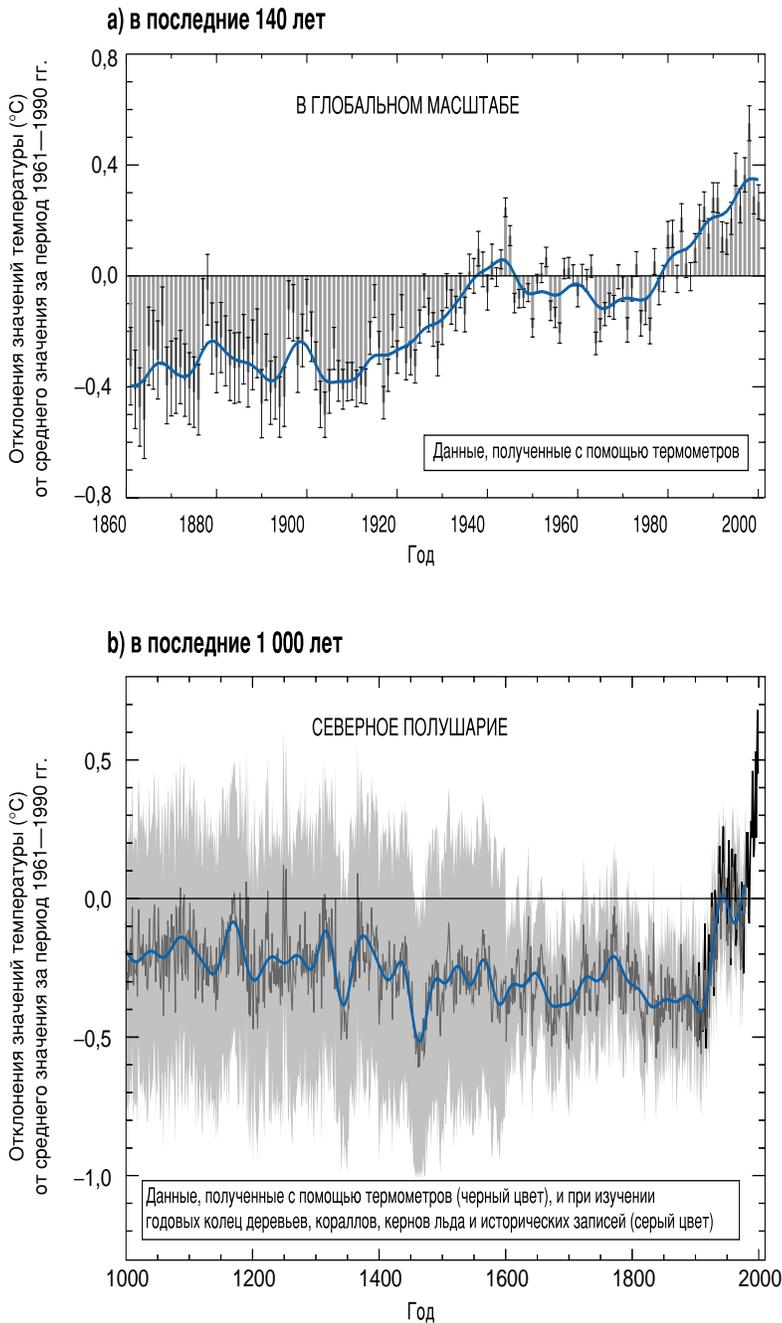


Рисунок РП-1. Колебания температуры на поверхности Земли в последние 140 лет и в последнее тысячелетие

а) Температура поверхности Земли показана за каждый год (серые столбики) и приблизительно за каждое десятилетие (синяя линия, отфильтрованная годовая кривая без учета флуктуаций, которые меньше примерно десятилетних временных масштабов). В годовых данных существуют неопределенности (тонкие черные столбики представляют диапазон со степенью достоверности в 95 %), что связано с пробелами в данных, случайными ошибками и неопределенностями в показаниях приборов, неопределенностями в поправках на смещение в данных о температуре поверхности океана и в поправках на урбанизацию на суше. За периоды как последних 140 лет, так и последних 100 лет, наилучшая оценка свидетельствует о том, что глобальная средняя приземная температура повысилась на  $0,6 \pm 0,2$  °C.

б) В дополнение к этому на основе косвенных данных, выверенных в сравнении с данными термометров (см. перечень основных косвенных данных в диаграмме), были воссозданы годовые (серая кривая) и усредненные за 50 лет (синяя кривая) колебания средней приземной температуры в северном полушарии за последние 1000 лет. Диапазон со степенью достоверности в 95 % в годовых данных представлен закрашенными в серый цвет участками. Эти неопределенности возрастают для более отдаленных периодов времени и всегда являются гораздо большими, чем для полученных с помощью приборов данных, поскольку используются сравнительно разреженные косвенные данные. Тем не менее, можно сделать вывод, что темпы и продолжительность потепления в XX столетии были гораздо большими, чем в любое из предыдущих девяти столетий. Аналогичным образом, вероятно<sup>7</sup>, что 1990-е годы были самым теплым десятилетием, а 1998 г. — самым теплым годом за последнее тысячелетие.

[Основано на: а) глава 2, рисунок 2.7с, и б) глава 2, рисунок 2.20]

- За период с 1979 г., когда начали проводиться спутниковые наблюдения, данные измерений как с помощью спутников, так и с помощью метеорологических шаров-зондов, свидетельствуют о том, что глобальная средняя температура в самых нижних 8 км атмосферы изменялась на  $+0,05 + 0,10$  °C в десятилетие, в то время как глобальная средняя приземная температура повышалась более значительными темпами на  $+0,15 + 0,05$  °C в десятилетие. Различие в темпах потепления в данном случае является статистически значимым. Это различие наблюдается главным образом в тропических и субтропических регионах.
- Самые нижние 8 км атмосферы и поверхность Земли испытывают на себе различное влияние таких факторов, как истощение озонового слоя в стратосфере, атмосферные аэрозоли и явление Эль-Ниньо. В связи с этим вполне правдоподобным с физической точки зрения представляется, что в короткий период времени (например 20 лет) могут наметиться различия в трендах температуры. Кроме того, методы измерений из космоса также могут служить причиной некоторых различий в трендах, однако вопрос об этих различиях полностью не решен.

*Протяженность снежного покрова и льда уменьшилась.*

- Полученные с помощью спутников данные свидетельствуют о том, что в период с конца 1960-х годов протяженность снежного покрова, весьма вероятно<sup>7</sup>, уменьшилась примерно на 10 %, а данные наземных наблюдений показывают, что в течение XX столетия, весьма вероятно<sup>7</sup>, происходило уменьшение примерно на две недели продолжительности ежегодного сохранения ледового покрова на озерах и реках в средних и высоких широтах северного полушария.
- В течение XX столетия происходило повсеместное отступление горных ледников в неполярных регионах.
- Протяженность морского льда в весенний и летний периоды в северном полушарии в период после 1950-х годов уменьшилась примерно на 10—15 %. Вероятно<sup>7</sup>, что в последние десятилетия толщина морского льда в Арктике в сезон позднего лета-ранней осени уменьшилась примерно на 40 %, в то время как толщина морского льда в зимний сезон уменьшалась гораздо медленнее.

*Глобальный средний уровень моря повысился, а тепло-содержание океанов увеличилось.*

- Данные, полученные с помощью мареографов, свидетельствуют о том, что глобальный средний уровень моря повысился в течение XX столетия на 0,1—0,2 м.
- Глобальное теплосодержание океанов возросло в период с конца 1950-х годов — период, за который имеются адекватные данные наблюдений за температурой подповерхностного слоя океана.

*Изменения произошли также и в других важных аспектах климата.*

- Весьма вероятно<sup>7</sup>, что количество атмосферных осадков увеличивалось на 0,5—1 % в десятилетие в течение XX столетия на большинстве территорий континентов в средних и высоких широтах северного полушария, а количество дождевых осадков над районами суши в тропиках (10° с. ш.—10° ю. ш.) увеличивалось на 0,2—0,3 % в десятилетие. Увеличение количества осадков в тропиках в последние несколько десятилетий не является очевидным. Также вероятно<sup>7</sup>, что количество дождевых осадков в большинстве субтропических (10° с. ш.—30° с. ш.) районов суши в северном полушарии в течение XX столетия уменьшалось примерно на 0,3 % в десятилетие. В отличие от северного полушария, в южном полушарии никаких сопоставимых систематических изменений в общих широтных средних значениях обнаружено не было. Для определения трендов в количестве атмосферных осадков над океанами данных недостаточно.
- Вероятно<sup>7</sup>, что в средних и высоких широтах северного полушария во второй половине XX столетия на 2—4 %

возросла частота явлений интенсивных осадков. Увеличение числа явлений интенсивных осадков может объясняться рядом причин, например, изменениями во влажности атмосферы, грозовой активности и активности крупномасштабных штормов.

- Вероятно<sup>7</sup>, что в течение XX столетия произошло увеличение на 2 % облачного покрова над районами суши в средних-высоких широтах. В большинстве районов эти тренды хорошо соотносятся с наблюдаемым уменьшением диапазона суточной температуры.
- Весьма вероятно<sup>7</sup>, что в период с 1950 г. происходило уменьшение частоты возникновения экстремально низких температур при небольшом увеличении частоты возникновения экстремально высоких температур.
- Теплые эпизоды явления Эль-Ниньо/южное колебание (ЭНСО) (которое оказывает постоянное влияние на региональные колебания температуры и количество атмосферных осадков в большинстве районов в тропиках и субтропиках и в некоторых районах в средних широтах) стали более частыми, устойчивыми и интенсивными, начиная с середины 1970-х годов по сравнению с предыдущими 100 годами.
- В течение XX столетия (1900—1995 гг.) увеличение территорий суши на земном шаре, испытывающих воздействия суровых засух или суровых явлений излишнего увлажнения, было сравнительно небольшим. Во многих регионах над этими изменениями доминировала изменчивость климата в междесятилетних и многодесятилетних масштабах, например изменение ЭНСО в направлении более теплых явлений.
- В некоторых регионах, например в некоторых частях Азии и Африки, в последние десятилетия наблюдалось увеличение частоты и интенсивности засух.

*Некоторые важные аспекты климата, как представляется, не претерпели изменений.*

- В некоторых районах земного шара в последние десятилетия потепление не наблюдалось; в основном это некоторые части океанов в южном полушарии и части Антарктики.
- Начиная с 1978 г., т.е. в период проведения надежных измерений со спутников, никаких значительных трендов в протяженности морского льда в Антарктике выявлено не было.
- Над изменениями в интенсивности и частоте тропических и внетропических штормов в глобальном масштабе доминируют колебания в междесятилетних-многодесятилетних масштабах, причем никаких значимых трендов в течение XX столетия в этих явлениях выявлено не было. Противоречивость проводимых

анализов затрудняет разработку окончательных выводов об изменениях в активности штормов, особенно в районах вне тропиков.

- Никаких систематических изменений в частоте возникновения торнадо, грозных дней или выпадений града при анализах по ограниченному району выявлено не было.

**Выбросы парниковых газов и аэрозолей в результате деятельности человека продолжают изменять атмосферу таким образом, что это может, по предположениям, неблагоприятно повлиять на климат.**

Изменения в климате происходят в результате как внутренней изменчивости в климатической системе, так и воздействия внешних факторов (как естественного, так и антропогенного характера). Влияние внешних факторов на климат может быть в общих чертах представлено с использованием концепции радиационного воздействия<sup>8</sup>. Положительное радиационное воздействие, такое, как возникающее в результате увеличения концентраций парниковых газов, имеет тенденцию нагревать поверхность. Отрицательное радиационное воздействие, которое может возникнуть в результате увеличения содержания в атмосфере некоторых видов аэрозолей (находящихся в воздухе микроскопических частиц), имеет тенденцию охлаждать поверхность. Естественные факторы, такие, как изменения в приходящей на Землю энергии солнца или активизировавшаяся вулканическая деятельность, также могут служить причиной радиационного воздействия. Определение характеристик этих воздействующих на климат факторов и их изменений в ходе времени (см. рисунок РП-2) необходимо для того, чтобы получить представление об изменениях климата в прошлом в контексте естественных колебаний и спрогнозировать изменения климата, которые могут возникнуть в будущем. На рисунке РП-3 представлены современные оценки радиационного воздействия, возникающего в результате увеличения концентраций атмосферных составляющих и действия других механизмов.

**Концентрации парниковых газов в атмосфере и их радиационное воздействие продолжают возрастать в результате деятельности человека.**

- Концентрация двуокси углерода ( $\text{CO}_2$ ) в атмосфере в период с 1750 г. возросла на 31 %. Ни в последние 420 000 лет, ни, вероятно<sup>7</sup>, в течение последних 20 млн лет концентрация  $\text{CO}_2$  не была столь высокой, как сегодня. Наблюдающиеся на сегодняшний день темпы ее увеличения беспрецедентны по меньшей мере в последние 20 000 лет.
- Примерно три четвертых антропогенных выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу в течение последних 20 лет происходят из-за сжигания ископаемых видов топлива. Остальная часть в

основном объясняется изменениями в землепользовании (особенно уничтожением лесов).

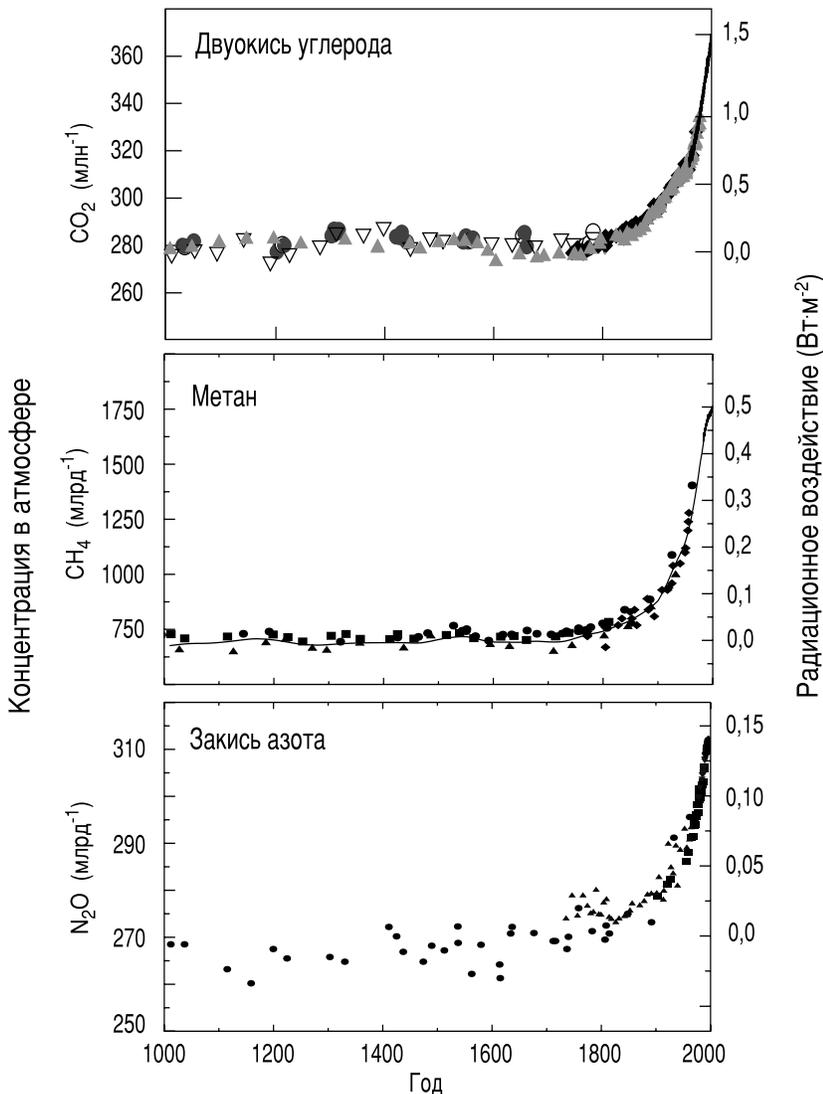
- В настоящее время океаны и суша вместе поглощают примерно половину антропогенных выбросов  $\text{CO}_2$ . На суше поглощение антропогенного  $\text{CO}_2$  в период 1990-х годов, весьма вероятно<sup>7</sup>, превышало высвобождение  $\text{CO}_2$  в результате уничтожения лесов.
- Темпы увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере в течение последних двух десятилетий составляли примерно  $1,5 \text{ млн}^{-1}$  <sup>9</sup> (0,4 %) в год. В 1990-х годах происходившее из года в год увеличение варьировалось от  $0,9 \text{ млн}^{-1}$  (0,2 %) до  $2,8 \text{ млн}^{-1}$  (0,8 %). Такие колебания большей частью объясняются влиянием изменчивости климата (например явлений Эль-Ниньо) на поглощение и высвобождение  $\text{CO}_2$  сушей и океанами.
- Концентрация метана ( $\text{CH}_4$ ) в атмосфере увеличилась на 1060 млрд<sup>-1</sup> <sup>9</sup> (151 %) в период с 1750 г. и продолжает возрастать. За последние 420 000 лет такой высокой концентрации  $\text{CH}_4$ , как сегодня, не наблюдалось. Ежегодное увеличение концентрации  $\text{CH}_4$  в 1990-х годах замедлилось и стало более изменчивым по сравнению с 1980-ми годами. Несколько более половины текущих выбросов  $\text{CH}_4$  носят антропогенный характер (например: связаны с использованием ископаемых видов топлива, разведением крупного рогатого скота, возделыванием риса и наличием мусорных свалок). В дополнение к этому одной из причин повышения концентрации  $\text{CH}_4$  в последнее время были признаны выбросы окиси углерода (CO).
- Концентрация закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) в атмосфере увеличилась на 46 млрд<sup>-1</sup> (17 %) в период с 1750 г. и продолжает возрастать. За последние как минимум тысячу лет не наблюдалось столь высокой концентрации  $\text{N}_2\text{O}$ , как сегодня. Примерно одна треть современных выбросов  $\text{N}_2\text{O}$  носит антропогенный характер (их источниками являются, например: сельскохозяйственные почвы, откормочные площадки для крупного рогатого скота и химическая промышленность).
- Начиная с 1995 г. концентрации многих галоидуглеродных газов, которые являются одновременно озоноразрушающими и парниковыми газами (например  $\text{CFCl}_3$  и  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ), в атмосфере либо возрастали более медленными темпами, либо уменьшались в связи с сокращением выбросов согласно предписаниям Монреальского протокола и поправок к нему. Соединения, которые являются их заменителями (например  $\text{CHF}_2\text{Cl}$  и  $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ ), и некоторые другие синтетические соединения (например перфторуглероды (ПФУ) и гексафторид серы ( $\text{SF}_6$ )) также являются парниковыми газами и их концентрации в настоящее время возрастают.

<sup>8</sup> Радиационное воздействие — это мера влияния, которое тот или иной фактор оказывает на изменение баланса приходящей и уходящей энергии в системе «Земля-атмосфера», а также показатель значимости конкретного фактора в качестве потенциального механизма изменения климата. Оно выражается в ваттах на квадратный метр ( $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ ).

<sup>9</sup> млн<sup>-1</sup> (миллионных долей) или млрд<sup>-1</sup> (миллиардных долей, 1 миллиард = 1000 миллионов) — это отношение количества молекул парникового газа к общему количеству молекул сухого воздуха. Например, 300 млн<sup>-1</sup> означают 300 молекул парникового газа на миллион молекул сухого воздуха.

## Показатели влияния действий человека на атмосферу в индустриальную эру

### а) Концентрации в глобальной атмосфере трех полностью перемешанных парниковых газов



### б) Осаждения сульфатных аэрозолей в льде Гренландии

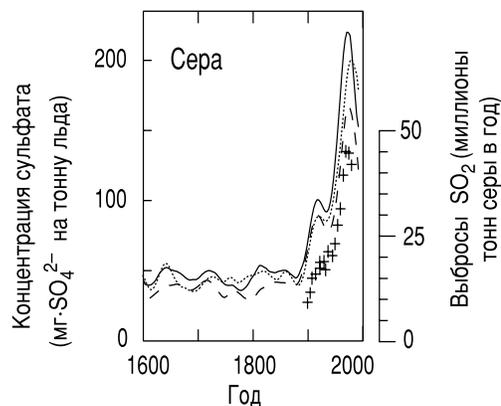


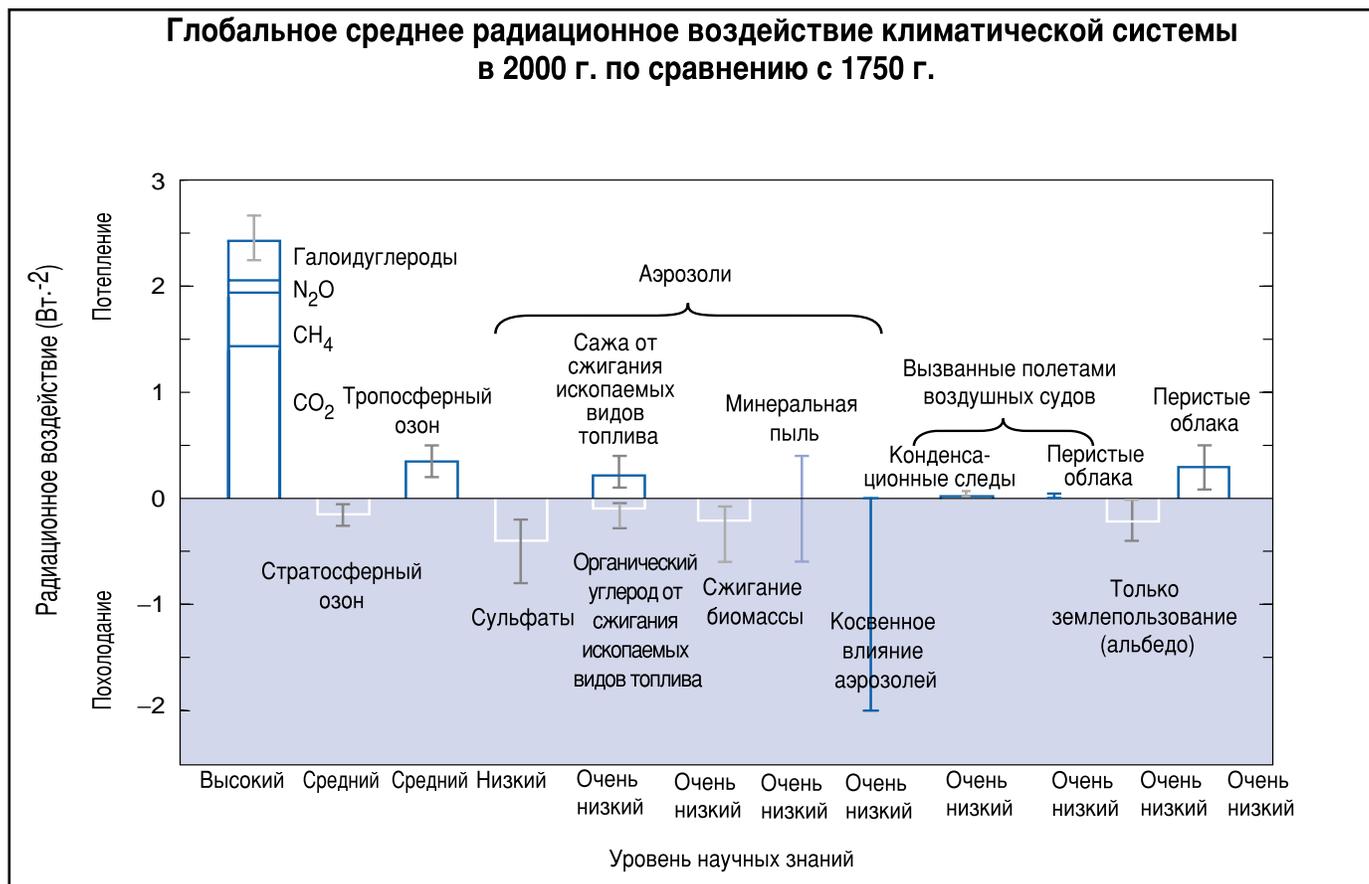
Рисунок РП-2. Зарегистрированные за продолжительный период данные об изменениях состава атмосферы в прошлом обеспечивают контекст для определения влияния антропогенных выбросов.

а) на рисунке показаны изменения в концентрациях двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ), метана ( $\text{CH}_4$ ) и закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) в атмосфере в последние 1000 лет. Данные, полученные при исследовании кернов льда и фирна, отобранных в нескольких точках в Антарктике и Гренландии (показаны разными символами), дополнены данными, полученными при исследовании непосредственных образцов атмосферы в последние несколько десятилетий (показаны линией для  $\text{CO}_2$  и вставлены в кривую, представляющую глобальную среднюю концентрацию  $\text{CH}_4$ ). Оценочное положительное радиационное воздействие этих газов на климатическую систему показано на шкале справа. Поскольку эти газы существуют в атмосфере в течение десятилетия или большего срока, они полностью перемешиваются, и их концентрации отражают выбросы из источников по всему земному шару. Все три графика свидетельствуют о крупномасштабном и всевозрастающем увеличении антропогенных выбросов в индустриальную эру.

б) на рисунке проиллюстрировано влияние промышленных выбросов на концентрации сульфата в атмосфере, которые ведут к отрицательному радиационному воздействию. Показано историческое изменение концентраций сульфата, однако не в атмосфере, а в кернах льда, отобранных в Гренландии (показаны линиями, из которых удалены эпизодические воздействия извержений вулканов). Такие данные указывают на локальное осаждение сульфатных аэрозолей в конкретной точке, отражая величины выбросов двуокиси серы ( $\text{SO}_2$ ) в средних широтах северного полушария. Эти зарегистрированные данные, хотя и носят более региональный характер, чем данные о перемешанных парниковых газах в глобальном масштабе, свидетельствуют о значительном росте антропогенных выбросов  $\text{SO}_2$  в индустриальную эру. Символы в виде плюсов означают соответствующие региональные оценочные выбросы  $\text{SO}_2$  (шкала справа).

[На основе: а) — глава 3, рисунок 3.2b ( $\text{CO}_2$ ); глава 4, рисунок 4.1a и b ( $\text{CH}_4$ ), и глава 4, рисунок 4.2 ( $\text{N}_2\text{O}$ ), и б) — глава 5, рисунок 5.4a]

- Радиационное воздействие, являющееся следствием увеличения концентраций полностью перемешанных парниковых газов в период с 1750 г. до 2000 г., оценивается как равное  $2,43 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , при этом  $1,46 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  — от  $\text{CO}_2$ ;  $0,48 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  — от  $\text{CH}_4$ ;  $0,34 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  — от галоидуглеродов; и  $0,15 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  от  $\text{N}_2\text{O}$ . (См. рисунок РП-3, где проиллюстрированы также существующие неопределенности).
- Наблюдавшееся в период с 1979 г. по 2000 г. истощение озонового ( $\text{O}_3$ ) слоя в стратосфере вызвало отрицательное радиационное воздействие ( $-0,15 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ ). При предположении о том, что современные предписания в отношении галоидуглеродов будут полностью выполняться, положительное воздействие галоидуглеродов будет уменьшаться так же, как и величина отрицательного воздействия, из-за



**Рисунок РП-3. Изменение климата вызвано многими внешними факторами.**

Показанные на рисунке виды радиационного воздействия объясняются изменениями в составе атмосферы, изменением отражательной способности поверхности в результате землепользования и колебаниями в излучаемой Солнцем энергии. За исключением колебаний солнечной энергии, каждый вид воздействия так или иначе связан с деятельностью человека. Прямоугольные столбики на рисунке представляют оценочные значения вкладов этих воздействующих факторов — некоторые из них способствуют потеплению, а некоторые — похолоданию. Воздействие, связанное с эпизодическими извержениями вулканов, ведущими к возникновению отрицательного воздействия, сохраняющегося в течение всего лишь нескольких лет, на рисунке не показано. Отраженное на рисунке косвенное влияние аэрозолей представляет собой их влияние на размеры и количество капель в облаках. Второе косвенное влияние аэрозолей на облака, а именно их влияние на продолжительность существования облаков, которое также ведет к возникновению отрицательного воздействия, на рисунке не показано. Виды влияния авиации на парниковые газы показаны в виде отдельных столбиков. Вертикальная линия при прямоугольнике указывает на диапазон оценок, которые определяются опубликованными значениями воздействий и физическим пониманием. Некоторые из воздействующих факторов характеризуются гораздо большей степенью определенности, чем другие. Вертикальная линия вне прямоугольника означает такое воздействие, для которого не дано никакой наилучшей оценки из-за существования слишком больших неопределенностей. Как уже отмечено, общий уровень научного понимания каждого воздействующего фактора весьма различен. Некоторые вещества, вызывающие радиационное воздействие, сильно перемешаны над земным шаром, как например  $\text{CO}_2$ , в результате чего нарушается глобальный тепловой баланс. Другие вещества вызывают пертурбации, обладающие скорее региональным характером, что связано с их пространственным распределением, например аэрозоли. По этой и по другим причинам нельзя ожидать, что простая сумма положительных и отрицательных столбиков на рисунке отобразит нетто-влияние на климатическую систему. Результаты моделирования в рамках настоящего Доклада об оценках (например рисунок РП-5) свидетельствуют о том, что оценочное нетто-влияние этих пертурбаций привело в период после 1750 г. к потеплению глобального климата. [Основано на: глава 6, рисунок 6.6]

истощения озона в стратосфере по мере того, как озоновый слой будет восстанавливаться в течение XXI столетия.

- Общее количество  $O_3$  в тропосфере, по оценкам, возросло в период с 1750 г. на 36 %, что объясняется в основном антропогенными выбросами нескольких образующих  $O_3$  газов. Это соответствует положительному радиационному воздействию в  $0,35 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ . Воздействие  $O_3$  значительно варьируется в зависимости от регионов и реагирует гораздо быстрее на изменения в выбросах, чем долго сохраняющиеся в атмосфере парниковые газы, такие, как  $CO_2$ .

*Антропогенные аэрозоли недолго сохраняются в атмосфере и вызывают в основном отрицательное радиационное воздействие.*

- Основными источниками антропогенных аэрозолей являются сжигание ископаемых видов топлива и сжигание биомассы. Эти источники также являются одной из причин ухудшения качества воздуха и кислотных осадков.
- В период после выпуска ВДО были достигнуты значительные успехи в совершенствовании определения прямой радиационной роли различных видов аэрозолей. Прямое радиационное воздействие, согласно оценкам, составляет для сульфата:  $-0,4 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , для аэрозолей от сжигания биомассы:  $-0,2 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , для аэрозолей, содержащих органический углерод от сжигания ископаемых видов топлива:  $-0,1 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  и для аэрозолей, содержащих сажу от сжигания ископаемых видов топлива:  $+0,2 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ . Количественно определить общее прямое влияние аэрозолей и его эволюцию в ходе времени можно лишь с гораздо меньшей степенью достоверности, чем для газов, перечисленных выше. Аэрозоли также в значительной степени варьируются по регионам и быстро реагируют на изменения в выбросах.
- Аэрозоли, в дополнение к своему прямому радиационному воздействию, оказывают также косвенное радиационное воздействие путем своего влияния на облака. В настоящее время появляется все больше свидетельств этого косвенного влияния, являющегося отрицательным, хотя его величина весьма неопределенна.

*В течение последнего столетия вклад естественных факторов в радиационное воздействие был небольшим.*

- Радиационное воздействие, связанное с изменениями в солнечном излучении в период с 1750 г., составляет, по оценкам, примерно  $+0,3 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , причем большая его часть проявилась в первой половине XX столетия. Начиная с конца 1970-х годов измерения с помощью спутников показали, что существуют небольшие колебания, связанные с 11-летним солнечным циклом.

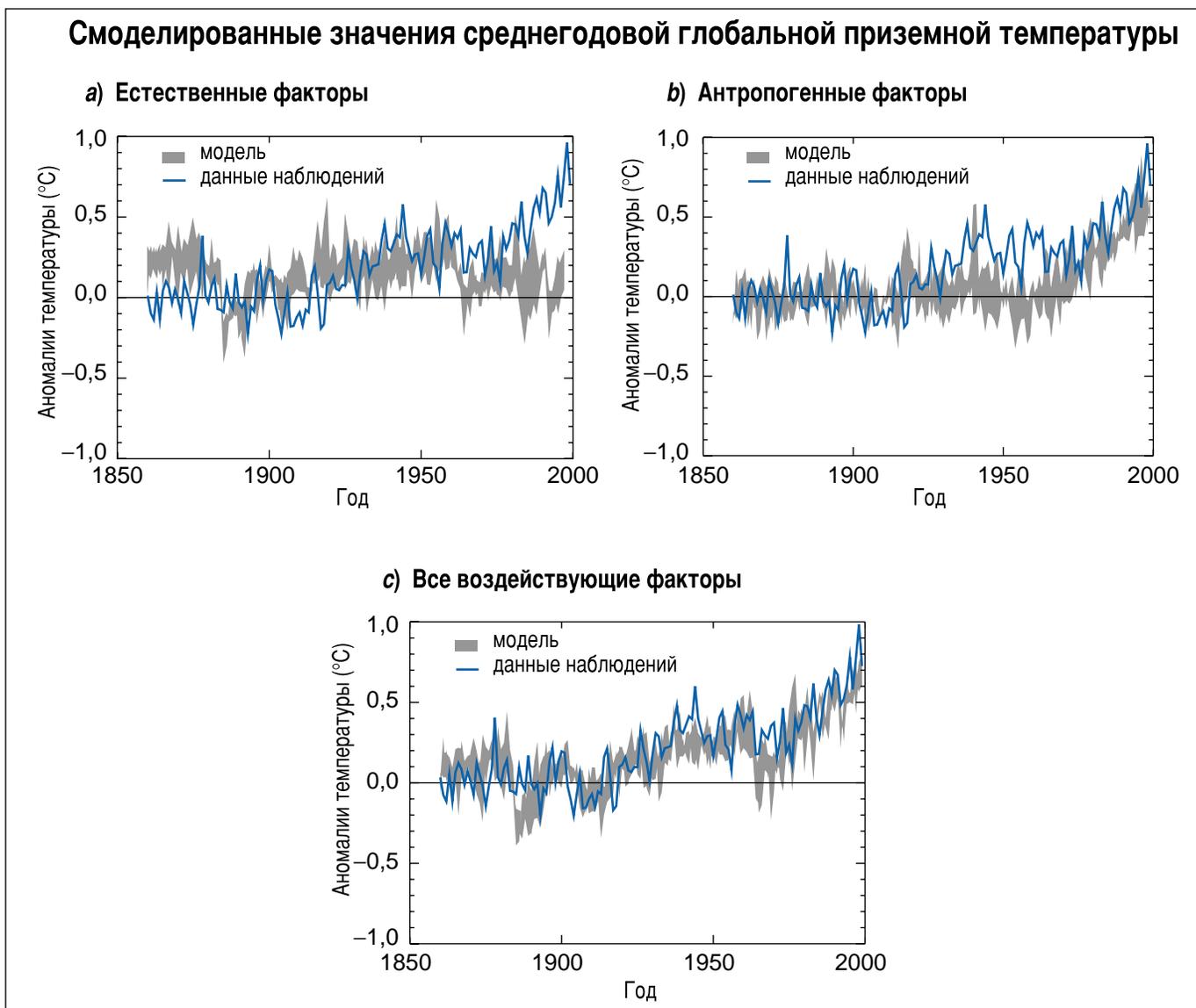
Были предложены объяснения механизмов усиления влияния Солнца на климат, однако в настоящее время ощущается недостаток как надежных теоретических основ, так и данных наблюдений.

- Аэрозоли, появляющиеся в стратосфере в результате извержений вулканов, приводят к отрицательному воздействию, сохраняющемуся в течение нескольких лет. Несколько крупных извержений вулканов произошли в периоды 1880—1920 гг. и 1960—1991 гг.
- Комбинированное изменение радиационного воздействия двух основных естественных факторов (колебаний солнечного излучения и аэрозолей от извержения вулканов) является, по оценкам, отрицательным в течение последних двух, а возможно, и последних четырех десятилетий.

**Доверие к способности моделей прогнозировать будущий климат возросло.**

Для получения подробных оценок обратных связей и региональных характеристик необходимы сложные, физически обоснованные модели климата. Такие модели пока еще не могут охватить все аспекты климата (например, они все еще не могут полностью учесть наблюдающуюся с 1979 г. тенденцию в разнице температур на поверхности Земли и в тропосфере), а также им присущи конкретные неопределенности, связанные с облаками и их взаимодействием с радиацией и аэрозолями. Тем не менее, доверие к способности этих моделей обеспечивать полезные прогнозы будущего климата возросло вследствие продемонстрированной эффективности этих моделей в определенном диапазоне пространственных и временных масштабов.

- Понимание климатических процессов и их введение в модели климата улучшилось, включая охват таких параметров, как: водяной пар, динамика морского льда и перенос океанского тепла.
- Некоторые разработанные в последнее время модели позволяют удовлетворительно моделировать современный климат, причем без необходимости нефизических корректировок потоков тепла и воды на границе океана и атмосферы, что применялось в более ранних моделях.
- Моделирование с включением оценочных значений естественных и антропогенных воздействующих факторов воспроизводит наблюдающиеся в течение XX столетия крупномасштабные изменения в приземной температуре (рисунок РП-4). Однако в этих моделях, вероятно, не учтены воздействия некоторых дополнительных процессов и воздействующих факторов. Тем не менее, факт крупномасштабного совпадения между результатами моделирования и данными наблюдений может быть использован для проведения независимой



**Рисунок РП-4. Моделирование колебаний температуры Земли и сравнение полученных результатов с измеренными изменениями может дать представление о причинах, лежащих в основе крупных изменений.**

Для моделирования изменений температуры, которые происходят из-за естественных и антропогенных причин, можно использовать модель климата. Результаты моделирования, представленные на части а) рисунка, были получены с учетом только естественных факторов воздействия: колебаний солнечного излучения и вулканической деятельности. Результаты, представленные на части б) рисунка, получены с учетом только антропогенных факторов воздействия: парниковых газов и оценочных значений сульфатных аэрозолей, а результаты, представленные в части в) рисунка, получены с учетом как естественных, так и антропогенных факторов воздействия. На графике б) можно видеть, что включение антропогенных факторов воздействия обеспечивает правдоподобное объяснение значительной части наблюдаемых в течение последнего столетия изменений температуры, однако наилучшее совпадение с данными наблюдений можно видеть на графике в), на котором учтены как естественные, так и антропогенные факторы. Эти результаты свидетельствуют о том, что включенные в исследование факторы воздействия достаточны для объяснения наблюдающихся изменений, однако при этом не исключается возможности того, что свой вклад вносят и другие факторы воздействия. Представленные на этом рисунке результаты работы с моделями являются результатами четырех прогонов одной и той же модели. Результаты, аналогичные представленным на графике б), получены и с другими моделями, учитывающими антропогенное воздействие. [Основано на: глава 12, рисунок 12.7]

проверки прогнозируемых темпов потепления в течение следующих нескольких десятилетий в рамках того или иного заданного сценария выбросов.

- Некоторые аспекты моделирования явлений ЭНСО, муссонов и североатлантического колебания так же, как и климата в отдельные периоды в прошлом, стали более совершенными.

**Появились новые и более веские свидетельства того, что большая часть потепления, наблюдаемого в течение последних 50 лет, вызвана деятельностью человека.**

В ВДО был представлен следующий вывод: «Совокупность свидетельств дает основание предположить, что деятельность человека заметно влияет на глобальный климат». В этом докладе

было отмечено также, что при изучении исходных данных об естественной изменчивости климата прослеживается антропогенный сигнал. В период после выхода ВДО были достигнуты определенные успехи в уменьшении неопределенности, особенно при проведении различий и количественном определении величины ответных реакций на различные внешние воздействия. Несмотря на то, что многие из указанных в ВДО источников неопределенности все еще в некоторой степени сохраняются, новые свидетельства и более совершенные знания позволяют сделать обновленные выводы.

- Появились более тщательно проверенные данные о температуре за более продолжительный период, а также полученные с помощью новых моделей оценки изменчивости. Согласно оценкам, полученным с помощью современных моделей, весьма маловероятно<sup>7</sup>, что наблюдающееся в последние 100 лет потепление вызвано только лишь внутренней изменчивостью. Восстановление данных о климате за последние 1000 лет (рисунок РП-1b) также свидетельствует о том, что современное потепление является необычным и маловероятно<sup>7</sup>, что оно происходит полностью под влиянием естественных факторов.
- Появились новые оценки реакции климата на естественное и антропогенное воздействие и применяются новые методы обнаружения. Исследования по обнаружению и объяснению причин позволяют получать новые свидетельства существования антропогенного сигнала в зарегистрированных данных о климате за последние 35—50 лет.
- Результаты моделирования ответных реакций только на естественные воздействия (т. е. реакция на изменчивость в солнечном излучении и в деятельности вулканов) не объясняют наличия потепления во второй половине XX столетия (см., например, рисунок РП-4а). При этом, однако, они свидетельствуют о том, что естественные факторы воздействия могли способствовать потеплению, наблюдавшемуся в первой половине XX столетия.
- Потепление, происходящее в течение последних 50 лет под влиянием антропогенных парниковых газов, может быть идентифицировано, несмотря на неопределенности в воздействии антропогенных сульфатных аэрозолей и естественных факторов (вулканов и солнечного излучения). Воздействие антропогенных сульфатных аэрозолей при всей его неопределенности было отрицательным в этот период и, следовательно, не может объяснить явление потепления. Изменения в естественном воздействии в течение большей части этого периода также, согласно оценкам, являются отрицательными и поэтому маловероятно<sup>7</sup>, что они являются причиной потепления.
- При проведении исследований по обнаружению и объяснению причин, в ходе которых сравниваются

результаты моделирования изменений и зарегистрированные данные наблюдений, теперь можно учитывать неопределенность в значении смоделированной реакции на внешнее воздействие, в частности неопределенность, связанную с неопределенностью в чувствительности климата.

- Большая часть этих исследований позволяет сделать вывод, что в течение последних 50 лет оценочные темпы и величина потепления, вызываемого только повышением концентраций парниковых газов, сопоставимы с наблюдаемыми в реальности значениями потепления или превышают их. Более того, большинство оценок, полученных с помощью моделей, в которых учитываются воздействия как парниковых газов, так и сульфатных аэрозолей, совпадают с данными наблюдений за этот период.
- Наилучшая согласованность между результатами моделирования и данными наблюдений за последние 140 лет проявилась, когда были объединены все названные выше антропогенные и естественные факторы воздействия, как это показано на рисунке РП-4с. Эти результаты свидетельствуют о том, что включенных в исследования воздействующих факторов достаточно для объяснения наблюдаемых изменений, однако при этом не исключается возможность того, что свой вклад вносят также и другие факторы воздействия.

В свете появившихся новых свидетельств и с учетом остающихся неопределенностей можно сделать вывод, что большая часть наблюдающегося в последние 50 лет потепления, вероятно<sup>7</sup>, вызвана увеличением концентраций парниковых газов.

Далее, весьма вероятно<sup>7</sup>, что потепление в XX столетии внесло значительный вклад в наблюдающееся повышение уровня моря, что объясняется тепловым расширением морской воды и повсеместным уменьшением объемов материкового льда. С учетом существующих на сегодня неопределенностей, данные наблюдений и результаты моделей соответствуют факту отсутствия значительного ускорения повышения уровня моря в течение XX столетия.

### **Влияние деятельности человека будет и дальше изменять состав атмосферы в XXI столетии.**

С помощью моделей были разработаны прогнозы концентраций парниковых газов и аэрозолей в атмосфере и, соответственно, прогнозы будущего климата на основе сценариев выбросов, представленных в Специальном докладе о сценариях выбросов (СДВБ) МГЭИК (рисунок РП-5). Эти сценарии были разработаны с целью обновления сценариев, представленных в серии IS92, которые использовались в ВДО и которые, в некоторых случаях, показаны для сравнения в настоящем докладе.

### Парниковые газы

- Выбросы  $\text{CO}_2$  в результате сжигания ископаемых видов топлива являются практически достоверно<sup>7</sup> тем фактором, который будет оказывать доминирующее влияние на тенденции в содержании  $\text{CO}_2$  в атмосфере в XXI столетии.
- В то время как концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере будет возрастать, океан и суша будут поглощать все меньшую долю антропогенных выбросов  $\text{CO}_2$ . Нетто-влияние обратных связей суши и океана с климатом, как показывают модели, будет заключаться в дальнейшем повышении спрогнозированных концентраций  $\text{CO}_2$  в атмосфере в результате уменьшения поглощения  $\text{CO}_2$  океанами и сушей.
- Согласно моделям круговорота углерода к 2010 г. концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере составят от 540 до 970 млн<sup>-1</sup> для иллюстративных сценариев, описанных в СДСВ (что от 90 до 250 % выше концентрации в 280 млн<sup>-1</sup> в 1750 г.) (рисунок РП-5b). В этих прогнозах учтены обратные связи между климатом и сушей и океанами. Наличие неопределенностей, особенно в отношении величины обратной связи между климатом и земной биосферой, является причиной вариаций примерно на -10 — +30 % вокруг каждого сценария. Общий диапазон составляет от 490 до 1260 млн<sup>-1</sup> (что на 75—350 % выше концентрации 1750 г.).
- Изменения в землепользовании могут повлиять на концентрацию  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Гипотетически, если весь углерод, высвободившийся в ходе истории в результате изменений в землепользовании, мог бы быть возвращен в земную биосферу в течение одного столетия (например путем лесовозобновления), концентрация  $\text{CO}_2$  была бы уменьшена на 40—70 млн<sup>-1</sup>.
- Выполненные с помощью моделей расчеты концентраций иных, чем  $\text{CO}_2$ , парниковых газов в атмосфере к 2100 г. дали весьма различные результаты для иллюстративных сценариев, описанных в СДСВ; согласно этим результатам концентрация  $\text{CH}_4$  изменится на -190 — +1970 млрд<sup>-1</sup> (современная концентрация — 1760 млрд<sup>-1</sup>), концентрация  $\text{N}_2\text{O}$  изменится на +38 — +144 млрд<sup>-1</sup> (современная концентрация 316 млрд<sup>-1</sup>), общее содержание  $\text{O}_3$  в тропосфере изменится на 12 — +62 %, а широкий диапазон изменений в концентрациях  $\text{ХФУ}$ ,  $\text{ПФУ}$  и  $\text{SF}_6$  соответствует 2000 г. В рамках некоторых сценариев  $\text{O}_3$ , содержащийся в тропосфере, станет столь же значимым фактором радиационного воздействия, как и  $\text{CH}_4$ , и над большей частью территорий северного полушария будет препятствовать решению текущих задач по улучшению качества воздуха.
- Для стабилизации радиационного воздействия необходимо будет сократить выбросы парниковых газов и газов, регулирующих их концентрацию. Например в том, что касается наиболее важного антропогенного парникового газа, модели круговорота углерода свидетельствуют о том,

что стабилизация концентраций  $\text{CO}_2$  в атмосфере на уровнях 450, 650 или 1000 млн<sup>-1</sup> потребует уменьшения глобальных антропогенных выбросов  $\text{CO}_2$  до значений ниже уровня 1990 г., соответственно, в течение нескольких десятилетий, примерно столетия или примерно двух столетий, а затем и дальнейшего их постоянного уменьшения. В конечном итоге, выбросы  $\text{CO}_2$  должны будут уменьшиться до такого уровня, чтобы составлять очень малую долю от современных значений выбросов.

### Аэрозоли

- Сценарии, представленные в СДСВ, предусматривают возможность как увеличений, так и уменьшений в содержании антропогенных аэрозолей (например: сульфатных аэрозолей (рисунок РП-5с), аэрозолей от сжигания биомассы, аэрозолей, содержащих сажу и органический углерод), в зависимости от масштабов использования ископаемых видов топлива и от политики по борьбе с загрязняющими атмосферу выбросами. В дополнение к этому, прогнозируется увеличение в результате изменений в климате содержания естественных аэрозолей (например: морской соли, пыли и выбросов, ведущих к образованию сульфатных и углеродных аэрозолей).

### Радиационное воздействие в XXI столетии

- Согласно иллюстративным сценариям, представленным в СДСВ, относящимся к 2000 г., глобальное среднее радиационное воздействие, вызываемое парниковыми газами, будет продолжать увеличиваться в течение XXI столетия, причем доля воздействия, связанная с  $\text{CO}_2$ , увеличится, согласно прогнозам, со значения, несколько превышающего половину, до значения примерно в три четвертых. Изменение в прямом плюс косвенном радиационном воздействии под влиянием аэрозолей будет, согласно прогнозам, меньше по величине, чем изменение под влиянием  $\text{CO}_2$ .

### В рамках всех сценариев, представленных в СДСВ МГЭИК, глобальная средняя температура и уровень моря будут, согласно прогнозам, повышаться.

С целью разработки прогнозов будущего климата в модели были введены как происходившие в прошлом, так и ожидаемые в будущем выбросы парниковых газов и аэрозолей. Соответственно, в них включены оценочные значения потепления, происходившего до сегодняшнего дня, и потепления, ожидаемого в будущем из-за выбросов в прошлом.

### Температура

- Глобальная средняя приземная температура, согласно прогнозам, повысится в период с 1990 г. по 2100 г. на 1,4—5,8 °C (рисунок РП-5d). Эти результаты, полученные на основе ряда моделей<sup>10,11</sup> климата, соответствуют всему диапазону 35 сценариев, представленных в СДСВ.

- Повышение температуры, по прогнозам, будет больше, чем это повышение, указанное в ВДО и составляющее 1,0—3,5 °C на основе шести сценариев IS92. Более высокие запрогнозированные значения температуры и более широкий диапазон являются следствием, в основном, более низких запрогнозированных выбросов двуокиси серы в сценариях СДСВ по сравнению со сценариями IS92.
- Запрогнозированные темпы потепления гораздо больше, чем наблюдавшиеся изменения в течение XX столетия; при этом они, весьма вероятно<sup>7</sup>, будут беспрецедентными по меньшей мере за последние 10 000 лет, как можно судить по палеоклиматическим данным.
- По состоянию на 2100 г. диапазон реакции приземной температуры, полученный с помощью прогона группы моделей климата при одном заданном сценарии, сопоставим с диапазоном, полученным от прогона одной модели с различными сценариями, представленными в СДСВ.
- При рассмотрении временных масштабов в несколько десятилетий современные наблюдаемые темпы потепления могут быть использованы для сдерживания прогнозируемой реакции на заданный сценарий выбросов, несмотря на неопределенность в значениях чувствительности климата. Такой подход предполагает, что вызываемое антропогенными причинами потепление, вероятно<sup>7</sup>, будет происходить в диапазоне от 0,1 до 0,2 °C в десятилетие в течение нескольких следующих десятилетий в рамках сценария IS92a, что аналогично соответствующему диапазону прогнозов, полученных с помощью простой модели и проиллюстрированных на рисунке РП-5d.
- Результаты последних работ с глобальной моделью показывают, что весьма вероятно<sup>7</sup>, что потепление над почти всеми районами суши будет происходить более быстрыми темпами, чем в среднем по земному шару, и

особенно это относится к территориям, находящимся в высоких широтах северного полушария в холодный сезон. Особенно заметно это будет проявляться в потеплении в северных районах Северной Америки и в северной и центральной частях Азии, где, согласно результатам каждой модели, потепление будет превышать глобальное среднее потепление более чем на 40 %. В противоположность этому, потепление будет меньше глобального среднего изменения на территориях в южной и юго-восточной частях Азии в летний период и в южной части Южной Америки в зимний период.

- Согласно результатам многих моделей наблюдающиеся в последнее время тенденции в значениях приземной температуры станут в большей степени соответствовать явлению Эль-Ниньо в тропической зоне Тихого океана, причем потепление в восточной части тропической зоны Тихого океана будет больше, чем в западной части тропической зоны Тихого океана, с соответствующим перемещением атмосферных осадков в восточном направлении.

#### Атмосферные осадки

- Согласно результатам моделирования с использованием глобальной модели и широкого ряда сценариев глобальное среднее содержание водяного пара и количество атмосферных осадков в XXI столетии будут возрастать. Ко второй половине XXI столетия количество осадков, вероятно<sup>7</sup>, увеличится в зимний период над средними-высокими широтами северного полушария и над Антарктикой. Что касается низких широт, над территориями суши будут наблюдаться как увеличение, так и уменьшение осадков в зависимости от регионов. Значительные колебания количества осадков по годам, весьма вероятно<sup>7</sup>, будут наблюдаться на большинстве территорий, для которых прогнозируется увеличение среднего количества осадков.

#### Экстремальные явления

В таблице РП-1 представлены оценки степени достоверности изменений в экстремальных метеорологических и климатических явлениях как наблюдавшихся во второй половине XX столетия (левая колонка), так и в прогнозируемых на XXI столетие (правая колонка)<sup>a</sup>. Эти оценки основаны на результатах исследований с учетом как данных наблюдений, так и результатов моделирования, а также на физическом правдоподобии прогнозов на будущее в рамках всех широко используемых сценариев и с учетом суждений экспертов<sup>7</sup>.

- В том что касается некоторых других экстремальных явлений, многие из которых могут оказывать важное влияние на окружающую среду и человеческое общество, то на сегодняшний день недостаточно информации для оценки соответствующих последних тенденций, а для

<sup>10</sup> Сложные, основанные на физике, модели климата являются основным инструментом для прогнозирования будущего изменения климата. В целях исследования всего диапазона сценариев эти модели дополнены простыми моделями климата, выверенными таким образом, чтобы получить такую реакцию температуры и уровня моря, которая была бы эквивалентна результатам сложных моделей климата. Эти прогнозы получены с использованием простой модели климата, в которых значение чувствительности климата и поглощения тепла океанами выверены в соответствии с каждой из семи сложных моделей климата. Значение чувствительности климата, использованное в простой модели, варьируется от 1,7 до 4,2 °C, что сопоставимо с общепринятым диапазоном от 1,5 до 4,5 °C.

<sup>11</sup> В этом диапазоне не учтены неопределенности в моделировании радиационного воздействия, например неопределенности, связанные с воздействием аэрозолей. Учтена небольшая обратная связь климата и круговорота углерода.

<sup>12</sup> Индекс тепла: сочетание температуры и влажности, с помощью которого измеряют последствия для комфортного состояния человека.

**Таблица РП-1. Оценки степени достоверности наблюдаемых и прогнозируемых изменений в экстремальных метеорологических и климатологических явлениях**

Степень достоверности наблюдаемых изменений (вторая половина XX столетия)	Изменения в явлениях	Степень достоверности прогнозируемых изменений (в течение XXI столетия)
Вероятно <sup>7</sup>	Повышение максимальных температур и увеличение количества жарких дней почти на всех территориях суши	Весьма вероятно <sup>7</sup>
Весьма вероятно <sup>7</sup>	Повышение минимальных температур, уменьшение количества холодных дней и морозных дней почти на всех территориях суши	Весьма вероятно <sup>7</sup>
Весьма вероятно <sup>7</sup>	Уменьшение диапазона суточных температур на большинстве территорий суши	Весьма вероятно <sup>7</sup>
Вероятно <sup>7</sup> , на многих территориях	Повышение индекса тепла <sup>12</sup> на территориях суши	Весьма вероятно <sup>7</sup> , на большинстве территорий
Вероятно <sup>7</sup> , на многих территориях суши в средних-высоких широтах северного полушария	Увеличение интенсивности явлений выпадения атмосферных осадков <sup>b</sup>	Весьма вероятно <sup>7</sup> , на многих территориях
Вероятно <sup>7</sup> , на некоторых территориях	Увеличение интенсивности сухих условий на континентах в летний период и связанного с этим риска засух	Вероятно <sup>7</sup> , на большинстве территорий внутри континентов в средних широтах (Отсутствие надежных прогнозов для других территорий)
Не наблюдалось, судя по результатам нескольких проведенных анализов	Увеличение интенсивности пиковых ветров при тропических циклонах <sup>c</sup>	Вероятно <sup>7</sup> , на некоторых территориях
Данных для оценки недостаточно	Увеличение интенсивности средних и пиковых атмосферных осадков при тропических циклонах <sup>c</sup>	Вероятно <sup>7</sup> , на некоторых территориях

<sup>a</sup> Более подробные сведения см. в главе 2 (наблюдения) и главах 9, 10 (прогнозы).  
<sup>b</sup> В том, что касается других территорий, данных либо недостаточно, либо результаты анализов противоречивы.  
<sup>c</sup> Прошлые и будущие изменения в местонахождении и частоте тропических циклонов носят неопределенный характер.

моделей климата недостаточно пространственных подробностей, позволяющих разработать надежные прогнозы. Например, явления очень мелкого масштаба, такие, как: грозы, торнадо, град и молнии — не учитываются в моделях климата.

### Явление Эль-Ниньо

- Степень достоверности прогнозов изменений будущей частоты, амплитуды и пространственной структуры явлений Эль-Ниньо в тропической зоне Тихого океана не может быть достаточно четко определена из-за недостатков в моделировании явления Эль-Ниньо с использованием сложных моделей. Согласно разработанному на сегодняшний день прогнозам в течение следующих 100 лет амплитуда явлений Эль-Ниньо изменится мало или слегка возрастет.
- Даже при небольшом изменении амплитуды Эль-Ниньо или при отсутствии такого изменения глобальное потепление, вероятно<sup>7</sup>, приведет к более масштабным экстремальным

явлениям в виде сухих условий и очень сильных дождей и повысит риск засух и наводнений, связанных с явлениями Эль-Ниньо, во многих различных регионах.

### Муссоны

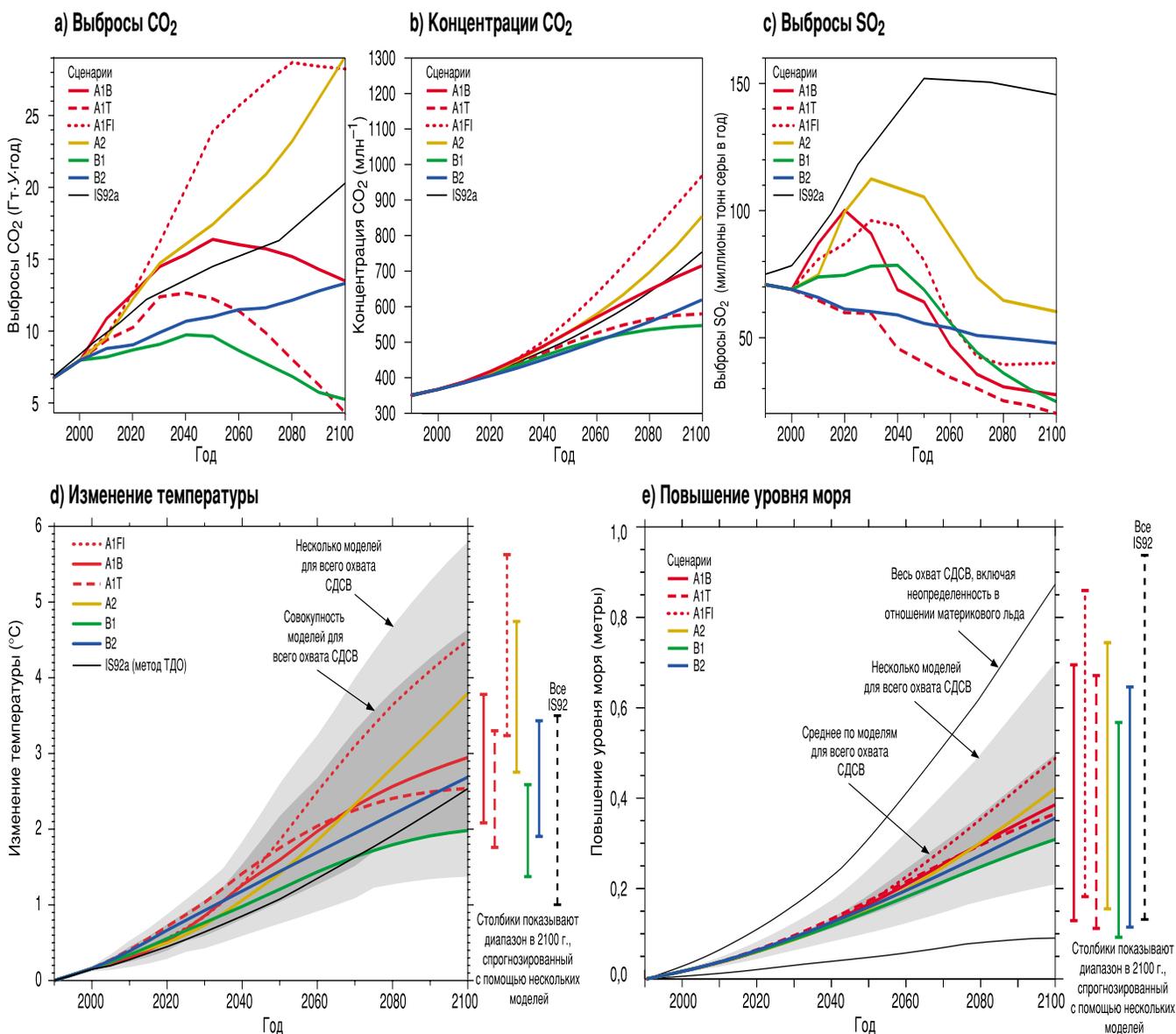
- Вероятно<sup>7</sup>, что потепление, связанное с повышением концентраций парниковых газов, приведет к увеличению изменчивости атмосферных осадков во время летних азиатских муссонов. Изменения в средней продолжительности и интенсивности муссонов при прогнозировании зависят от подробностей конкретного сценария выбросов. Степень достоверности таких прогнозов также ограничивается тем, насколько хорошо модели климата позволяют смоделировать подробную сезонную эволюцию муссонов.

### Термогалинная циркуляция

- Результаты работы с большинством моделей свидетельствуют об ослаблении термогалинной циркуляции

<sup>12</sup> Индекс тепла: сочетание температуры и влажности, с помощью которого измеряют последствия для комфортного состояния человека.

## Глобальный климат в XXI столетии



**Рисунок РП-5. Глобальный климат в XXI столетии будет зависеть от естественных изменений и от реакции климатической системы на деятельность человека.**

Модели климата позволяют спрогнозировать реакцию многих климатических переменных параметров, таких, как повышения глобальной приземной температуры и уровня моря, на различные сценарии выбросов парниковых газов и других связанных с деятельностью человека выбросов. а) Показаны выбросы CO<sub>2</sub> в рамках шести иллюстративных сценариев, представленных в СДСВ, которые обобщены в текстовом блоке на стр. 17, наряду с IS92a, в целях сравнения с ВДО. б) Показаны прогнозируемые концентрации CO<sub>2</sub>. (с) Показаны антропогенные выбросы SO<sub>2</sub>. Выбросы других газов и других аэрозолей были учтены в этой модели, однако не показаны на рисунке. д) и е) Показаны прогнозируемые реакции соответственно температуры и уровня моря. Весь охват СДСВ с использованием нескольких моделей» на графиках д) и е) показывает повышения соответственно температуры и уровня моря для простой модели, когда она приведена в соответствие с рядом сложных моделей с определенным диапазоном значений чувствительности климата. «Весь охват СДСВ» означает полный диапазон 35 сценариев СДСВ. «Среднее по моделям для всего охвата СДСВ» означает средний результат от прогона этих моделей для конкретного диапазона сценариев. Следует принять во внимание, что потепление и повышение уровня моря в результате этих выбросов будут продолжаться и после 2100 г. Также следует иметь в виду, что этот диапазон не учитывает неопределенность, связанную с динамическими изменениями объема льда в Западноантарктическом ледовом щите, также как не учитывает и неопределенности в прогнозах несulfатных аэрозолей и концентрациях парниковых газов. [Основано на: а) глава 3, рисунок 3.12; б) глава 3, рисунок 3.12; в) глава 5, рисунок 5.13; д) глава 9, рисунок 9.14; е) глава 11, рисунок 11.12, приложение II]

океанов, которое ведет к уменьшению переноса тепла в высокие широты северного полушария. Однако даже те модели, которые свидетельствуют об ослаблении термогалинной циркуляции, позволяют прогнозировать по-прежнему потепление над Европой в результате повышения концентраций парниковых газов. Согласно современным прогнозам, построенным на использовании моделей климата, до 2100 г. термогалинная циркуляция не прекратится. Что же касается периода после 2100 г., термогалинная циркуляция может полностью, и возможно, необратимо прекратиться в любом из полушарий, если изменение в радиационном воздействии будет достаточно большим и будет происходить достаточно долго.

### Снег и лед

- Согласно прогнозам, протяженность снежного покрова и морского льда в северном полушарии будет и далее уменьшаться.
- Ледники и ледниковые куполы, согласно прогнозам, будут в течение XXI столетия повсеместно отступать.
- Антарктический ледовый щит, вероятно<sup>7</sup>, увеличит свою массу вследствие увеличения атмосферных осадков, в то время как ледовый щит Гренландии, вероятно<sup>7</sup>, потеряет свою массу, поскольку увеличение стока будет более значительным, чем увеличение атмосферных осадков.
- По поводу стабильности Западноантарктического ледового щита была выражена озабоченность, поскольку его основание находится ниже уровня моря. Тем не менее, на сегодняшний день достигнуто общее мнение, что таяние укоренившегося льда, ведущее к значительному повышению уровня моря из-за этого источника, будет в течение XXI столетия весьма маловероятным<sup>7</sup>, хотя его динамика пока еще недостаточно понятна, особенно для того, чтобы разрабатывать прогнозы в более продолжительных временных масштабах.

### Уровень моря

- Согласно полному диапазону сценариев, представленных в СДСВ, глобальный средний уровень моря в период между 1990 г. и 2100 г. повысится на 0,09—0,88 м. Это должно произойти главным образом из-за теплового расширения и таяния ледников и ледниковых куполов (рисунок РП-5е). Диапазон повышения уровня моря, представленный в ВДО на основе сценариев IS92, составлял 0,13—0,94 м. Несмотря на то, что прогнозы в рамках настоящей оценки свидетельствуют о большем повышении температуры, прогнозы повышения уровня моря дают более низкие значения, что в основном объясняется использованием усовершенствованных моделей, согласно которым вклад со стороны ледников и ледовых щитов будет меньше.

### Происходящее под влиянием деятельности человека изменение климата будет продолжаться в течение многих столетий.

- Выбросы долго сохраняющихся в атмосфере парниковых газов (например: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, ПФУ, SF<sub>6</sub>) оказывают продолжительное влияние на состав атмосферы, радиационное воздействие и климат. Например, спустя несколько столетий после того, как произошли выбросы CO<sub>2</sub>, примерно одна четвертая увеличения концентрации CO<sub>2</sub> в результате этих выбросов все еще сохраняется в атмосфере.
- После того как концентрации парниковых газов будут стабилизированы, глобальная средняя приземная температура будет продолжать возрастать со скоростью всего несколько десятых градуса в столетие, а не на несколько градусов в столетие, как это прогнозируется на XXI столетие, при отсутствии стабилизации. Чем ниже уровень, на котором удастся стабилизировать концентрации, тем меньше будет общее изменение температуры.
- Повышение глобальной средней приземной температуры и уровня моря в результате теплового расширения океанов будет продолжаться, согласно прогнозам, еще в течение нескольких столетий после стабилизации концентраций парниковых газов (даже на сегодняшнем уровне) вследствие того, что глубоким океанам требуются продолжительные периоды времени для адаптации к изменению климата.
- Ледовые щиты будут продолжать реагировать на потепление климата и способствовать повышению уровня моря в течение тысячелетий после того, как климат стабилизируется. Модели климата показывают, что локальное потепление в Гренландии, вероятно<sup>7</sup>, в 1—3 раза превышает глобальное среднее значение. Модели поведения ледовых щитов показывают, что локальное потепление, превышающее 3 °С, в случае сохранения в течение тысячелетий приведет в конечном итоге к полному растаиванию ледового щита Гренландии и в результате к повышению уровня моря примерно на 7 м. Локальное потепление на 5,5 °С в случае сохранения в течение 1000 лет, вероятно<sup>7</sup>, приведет к тому, что только за счет Гренландии уровень моря повысится примерно на 3 м.
- Современные модели динамики льда позволяют предположить, что таяние Западноантарктического ледового щита может способствовать повышению уровня моря в течение следующих 1000 лет примерно на 3 м, однако эти результаты в сильной степени зависят от допущений в моделях относительно сценариев изменения климата, динамики льда и других факторов.

### Для заполнения пробелов в информации и знаниях необходимы дальнейшие действия.

Для улучшения способности обнаруживать, объяснять и понимать процесс изменения климата, устранять неопределенности и

## Сценарии выбросов, представленные в Специальном докладе о сценариях выбросов (СДСВ)

A1. Сюжетная линия и сценарная семья A1 содержат описание будущего мира, характеризуемого очень быстрым экономическим ростом, глобальным населением, показатели которого достигают пиковых значений в середине века с последующим уменьшением, а также быстрым внедрением новых и более эффективных технологий. Основополагающими темами являются постепенное сближение разных регионов, создание потенциала и активизация культурных и социальных взаимосвязей при значительном уменьшении региональных различий в доходе на душу населения. Сценарная семья A1 разделяется на три группы, дающие описание альтернативных вариантов технологического изменения в энергетической системе. Три группы A1 отличаются своим центральным технологическим элементом: значительная доля ископаемых видов топлива (A1FI), неископаемые источники энергии (A1T) и равновесие между всеми источниками (A1B) (где равновесие определяется в качестве не слишком большой зависимости от одного конкретного источника энергии, исходя из того, что аналогичные темпы повышения эффективности применяются в отношении всех технологий энергоснабжения и конечного использования).

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

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

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

Был избран иллюстративный сценарий для каждой из шести сценарных групп A1B, A1FI, A1T, A2, B1 и B2. Их все следует рассматривать в качестве одинаково обоснованных.

В сценариях, представленных в СДСВ, не учтены дополнительные инициативы в отношении климата, что означает, что ни в один из сценариев не включено допущение об осуществлении Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата или о решении задачи уменьшения выбросов согласно Киотскому протоколу.

прогнозировать изменения климата в будущем необходимы дальнейшие научные исследования. В частности, существует потребность в проведении дополнительных систематических и непрерывных наблюдений, моделирования и исследований процессов. Серьезную озабоченность вызывает факт уменьшения сетей станций наблюдений. Ниже перечислены высокоприоритетные области, в которых требуются активные действия.

- Систематические наблюдения и воссоздание данных:
  - переход от уменьшения к увеличению сетей для проведения наблюдений во многих частях земного шара;
  - обеспечение и расширение основы в виде данных наблюдений для проведения исследований климата путем предоставления точных, охватывающих продолжительные периоды совместимых

данных, включая осуществление стратегии комплексных глобальных наблюдений;

- активизация работ по воссозданию картин климата в прошлые периоды;
- совершенствование наблюдений за пространственным распределением парниковых газов и аэрозолей.
- Моделирование и исследование процессов:
  - углубление понимания механизмов и факторов, вызывающих изменения в радиационном воздействии;
  - понимание и характеристика важных, не получивших еще своего определения процессов и обратных связей как физического, так и биогеохимического характера, в климатической системе;

- совершенствование методов количественного определения неопределенностей в прогнозах и сценариях климата, включая моделирование по ансамблю за долгосрочные периоды с использованием сложных моделей;
- совершенствование комплексной иерархии моделей глобального и регионального климата с уделением основного внимания моделированию изменчивости климата, региональных изменений климата и экстремальных явлений;
- установление более эффективной связи между моделями физического климата и биогеохимической системы и далее улучшение сопряженности с описаниями деятельности человека.

Охват этих ключевых областей является решающим вопросом, связанным с укреплением международного сотрудничества и координации в целях более совершенного использования ресурсов науки, вычислительных средств и сетей наблюдений. Такие действия будут также способствовать свободному обмену данными между учеными. Одна из особых потребностей заключается в необходимости расширения возможностей для проведения наблюдений и научных исследований во многих регионах мира, особенно в развивающихся странах. И наконец так же, как и в случае с целью настоящей оценки, существует постоянная потребность в сообщении сведений о последних научных достижениях, с тем чтобы они могли быть применены в процессе принятия решений.

## ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ: РЕЗЮМЕ ДЛЯ ЛИЦ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОЛИТИКУ

В настоящем приложении содержатся перекрестные ссылки по темам, представленным в Резюме для лиц, определяющих политику (страница и отмеченная маркером тема), с указанием разделов глав полного доклада, в которых содержится более полная информация по конкретной теме.

<i>Всевозрастающий объем данных наблюдений дает обобщенную картину потепления на земном шаре и других изменений в климатической системе.</i>	9	<i>В течение последнего столетия вклад естественных факторов в радиационное воздействие был небольшим. ●6.11 и 6.15.1 ●6.9 и 6.15.1 ● 6.15.1</i>
<b>Стр. РП</b> <i>Перекрестная ссылка: тема РП – раздел главы</i>		<i>Доверие к способности моделей прогнозировать будущий климат возросло.</i>
3 <i>Глобальная средняя приземная температура повысилась в XX столетии примерно на 0,6 °С.</i>		
● 2.2.2 ● 2.2.2 ● 2.3 ● 2.2.2		
3 <i>Значения температуры в самых нижних 8 км атмосферы за последние четыре десятилетия повысились. ● 2.2.3 и 2.2.4 ● 2.2.3 и 2.2.4 ● 2.2.3, 2.2.4 и 12.3.2</i>		
5 <i>Протяженность снежного покрова и льда уменьшилась. Все три отмеченные маркером пункта: 2.2.5 и 2.2.6</i>	9	Начало абзаца: «Для получения подробных оценок . . .» 8.3.2, 8.5.1, 8.6.1, 8.10.3 и 12.3.2 ● 7.2.1, 7.5.2 и 7.6.1 ● 8.4.2 J 8.6.3 и 12.3.2 ● 8.5.5, 8.7.1 и 8.7.5
5 <i>Глобальный средний уровень моря повысился, а теплосодержание океанов увеличилось. ● 11.3.2 ● 2.2.2 и 11.2.1</i>		<i>Появились новые и более веские свидетельства того, что большая часть потепления, наблюдаемого в течение последних 50 лет, вызвана деятельностью человека.</i>
5 <i>Изменения произошли также и в других важных аспектах климата. ● 2.5.2 ● 2.7.2 ● 2.2.2 и 2.5.5 ● 2.7.2 ● 2.6.2 и 2.6.3 ● 2.7.3 ● 2.7.3</i>		
5 <i>Некоторые важные аспекты климата, как представляется, не претерпели изменений. ● 2.2.2 ● 2.2.5 ● 2.7.3 ● 2.7.3</i>		
<i>Выбросы парниковых газов и аэрозолей в результате деятельности человека продолжают изменять атмосферу таким образом, что это может, по предположениям, неблагоприятно повлиять на климат.</i>		
<b>Стр. РП</b> <i>Перекрестная ссылка: тема РП – раздел главы</i>		
5 <i>Заголовок: «Изменения в климате происходят . . .»</i>	10	Начало абзаца: «В ВДО был представлен следующий вывод: Совокупность свидетельств дает основание предположить . . . 12.1.2 и 12.6
1, 3.1, 4.1, 5.1, 6.1, 6.2, 6.9, 6.11 и 6.13		● 12.2.2, 12.4.3 и 12.6
6 <i>Концентрации парниковых газов в атмосфере и их радиационное воздействие продолжают возрастать в результате деятельности человека.</i>	10	● 12.4.1, 12.4.2, 12.4.3 и 12.6
Двуокись углерода: ● 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 и 3.5.1 ● 3.5.1 ● 3.2.2, 3.2.3, 3.5.1 и таблица 3.1 ● 3.5.1 и 3.5.2		● 12.2.3, 12.4.1, 12.4.2, 12.4.3 и 12.6
Метан: ● 4.2.1		● 12.4.3 и 12.6 ● 12.6
Закись азота: ● 4.2.1		● 12.4.3 ● 12.4.3 и 12.6
Галоидуглероды: ● 4.2.2	11	«В свете появившихся новых свидетельств и с учетом . . .» 12.4 и 12.6
Радиационное воздействие полностью перемещенных газов: ● 4.2.1 и 6.3	11	«Далее, весьма вероятно, что потепление в XX столетии . . .» 11.4
Стратосферный озон: ● 4.2.2 и 6.4		
Тропосферный озон: ● 4.2.4 и 6.5		
9 <i>Антропогенные аэрозоли недолго сохраняются в атмосфере и вызывают в основном отрицательное радиационное воздействие. ● 5.2 и 5.5.4 ● 5.1, 5.2 и 6.7 ● 5.3.2, 5.4.3 и 6.8</i>	12	<i>Влияние деятельности человека будет и дальше изменять состав атмосферы в XXI столетии.</i>
	12	
		<b>Стр. РП</b> <i>Перекрестная ссылка: тема РП – раздел главы</i>
	11	Начало абзаца: «С помощью моделей были разработаны прогнозы . . .» 4.4.5 и приложение II
	12	<i>Парниковые газы</i> ● 3.7.3 и приложение II
		● 3.7.1, 3.7.2, 3.7.3 и приложение II
		● 3.7.3 и приложение II
		● 3.2.2 и приложение II
		● 4.4.5, 4.5, 4.6 и приложение II
		● 3.7.3
		<i>Аэрозоли</i> ● 5.5.2, 5.5.3 и приложение II
		<i>Радиационное воздействие в XXI столетии</i>
		● 6.15.2 и приложение II

*В рамках всех сценариев, представленных в СДСВ МГЭИК, глобальная средняя температура и уровень моря будут, согласно прогнозам, повышаться.*

*Происходящее под влиянием деятельности человека изменение климата будет продолжаться в течение многих столетий.*

Стр. РП	<b>Перекрестная ссылка: тема РП – раздел главы</b>
12	Температура • 9.3.3 • 9.3.3 • 2.2.2, 2.3.2 и 2.4 • 9.3.3 и 10.3.2 • 8.6.1, 12.4.3, 13.5.1 и 13.5.2 • 10.3.2 и текстовый блок 10.1 • 9.3.2
13	Атмосферные осадки • 9.3.1, 9.3.6, 10.3.2 и текстовый блок 10.1
13	Экстремальные явления Таблица 1: 2.1, 2.2, 2.5, 2.7.2, 2.7.3, главы 9.3.6 и 10.3.2 • 2.7.3 и 9.3.6
14	Явление Эль-Ниньо • 9.3.5 • 9.3.5
14	Муссоны • 9.3.5
14	Термогалинная циркуляция • 9.3.4
16	Снег и лед • 9.3.2 • 11.5.1 • 11.5.1 • 11.5.4
16	Уровень моря • 11.5.1

Стр. РП	<b>Перекрестная ссылка: тема РП – раздел главы</b>
17	• 3.2.3, 4.4 и 6.15 • 9.3.3 и 9.3.4 • 11.5.4 • 11.5.4 • 11.5.4

*Для заполнения пробелов в информации и знаниях необходимы дальнейшие действия.*

Стр. РП	<b>Перекрестная ссылка: тема РП – раздел главы</b>
17–18	Все отмеченные маркером пункты: глава 14, Резюме для лиц, определяющих политику.

---

# ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕЗЮМЕ

## Изменение климата, 2001 г.: Научные аспекты

---

### *Доклад, одобренный в целом рабочей группой I МГЭИК*

*«Одобрение» докладов МГЭИК на сессии рабочей группы или группы экспертов означает, что конкретный материал не обсуждался и не согласовывался построчно, но тем не менее в нем представлен всеобъемлющий, объективный и сбалансированный взгляд на существование вопроса.*

#### **Ведущие авторы-координаторы**

*Д. Л. Олбриттон (США), Л. Г. Мейра Филхо (Бразилия)*

#### **Ведущие авторы**

*У. Кубаиш (Германия), С. Дай (Китай), Я Дин (Китай), Д. Дж. Григгс (СК), Б. Хьюитсон (Южная Африка), Дж. Т. Хоутон (СК), И. Исаксен (Норвегия), Т. Карл (США), М. Мак-Фарланд (США), В. П. Мелешко (Россия), Дж. Ф. Б. Митчел (СК), М. Ногур (СК), Б. С. Ньенци (Танзания), М. Оптенгеймер (США), Дж. И. Пеннер (США), С. Поллонес (Тринидад и Тобаго), Т. Стокер (Швейцария), К. И. Тренберт (США)*

#### **Специалисты, представившие материалы**

*М. Р. Аллен (СК), А. П. М. Баеде (Нидерланды), Дж. А. Черч (Австралия), Д. Х. Эххалт (Германия), С. К. Фолланд (СК), Ф. Джиорджи (Италия), Дж. М. Грегори (СК), Дж. М. Хейвуд (СК), Дж. И. Хоус (Германия), М. Хелм (СК), В. Дж. Джерамилло (Мексика), А. Джейараман (Индия), К. А. Джонсон (СК), С. Жоссом (Франция), Д. Дж. Кароль (Австралия), Х. Кеиши (США), К. Ле Кер (Франция), Л. Дж. Мата (Германия), Б. Дж. Мак-Авени (Австралия), Л. О. Мирнс (США), Дж. А. Михл (США), Б. Мур III (США), Р. К. Мугара (Замбия), М. Пратер (США), К. Прентис (Германия), В. Рамасвами (США), С. К. Б. Рейпер (СК), М. Дж. Сэлинджер (Новая Зеландия), Р. Шолес (Южная Африка), С. Соломон (США), Р. Стоуфер (США), М.-С. Ван (Китай), Р. Т. Уотсон (США), К.-С. Яп (Малайзия)*

#### **Редакторы-рецензенты**

*Ф. Джос (Швейцария), А. Рамирез-Ройяс (Венесуэла), Дж. М. Р. Стоун (Канада), Дж. Зиллман (Австралия)*



## А. Введение

### А.1 МГЭИК и ее рабочие группы

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) была учреждена в 1988 г. совместно Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО) и Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП). Цель при этом была и остается в обеспечении оценки знаний обо всех аспектах изменения климата<sup>1</sup>, включая вопрос о том, каким образом деятельность человека может вызывать такие изменения и может испытывать на себе их влияние. Общепризнанным стал тот факт, что антропогенные выбросы парниковых газов обладают потенциальной возможностью изменять климатическую систему (см. текстовой блок ТР-1), оказывая возможные благоприятные или неблагоприятные воздействия. Признано также, что рассмотрение и решение таких глобальных вопросов требует организационных усилий в глобальном масштабе, включая оценку знаний по конкретному вопросу мировыми сообществами специалистов.

В ходе своей первой сессии МГЭИК была подразделена на три рабочих группы. На сегодняшний день эти рабочие группы занимаются следующими вопросами: рабочая группа I занимается научными аспектами проблемы климатической системы и изменения климата; рабочая группа II занимается проблемой последствий изменения климата и адаптации к нему; и рабочая группа III занимается вариантами смягчения последствий изменения климата. МГЭИК подготовила свой Первый основной доклад об оценках в 1990 г. и свой Второй основной доклад об оценках — в 1996 г.

Доклады МГЭИК: (i) являются обновленными описаниями известных знаний и того, что еще предстоит выяснить относительно климатической системы и связанных с ней факторов; (ii) основаны на знаниях международных сообществ специалистов; (iii) подготовлены путем открытого процесса взаимного профессионального рецензирования; и (iv) основаны на научных публикациях, выводы которых обобщены в понятиях, полезных для лиц, принимающих решения. Хотя получившая оценку информация и имеет отношение к политике, МГЭИК не устанавливает и не отстаивает какую-либо государственную политику.

Сфера оценок, проводимых рабочей группой I, охватывает наблюдения за текущими изменениями и тенденциями в климатической системе, воссоздание картины изменений и тенденций в прошлом, понимание процессов, участвующих в этих изменениях, и введение этих знаний в модели,

которые помогают объяснить причины изменений и спрогнозировать вызванные естественными и антропогенными факторами будущие изменения климатической системы.

### А.2 Первый и Второй доклад об оценках рабочей группы I

В Первом докладе об оценках, выпущенном в 1990 г., рабочая группа I в общих чертах описала статус знаний о климатической системе и об изменении климата, полученных в ходе научных исследований в предшествующие десятилетия. При этом были особо подчеркнуты несколько основных моментов. Парниковый эффект — это естественное свойство нашей планеты и фундаментальная физика этого процесса хорошо известна. Содержание парниковых газов в атмосфере возрастает и связано это в основном с деятельностью человека. Продолжение увеличения выбросов парниковых газов в будущем, согласно прогнозам, приведет к значительному повышению средней приземной температуры планеты — повышению, которое превысит величину естественных колебаний в последние несколько тысячелетий и повернуть которое вспять можно будет лишь очень медленными темпами. В последнее столетие, ко времени подготовки того доклада, произошло потепление на поверхности примерно на 0,5 °С, которое в целом соответствует полученным с помощью моделей климата прогнозам для повышения концентраций парниковых газов, но которое также сопоставимо с тем, что известно о естественных колебаниях. И наконец, было указано на то, что существовавший на тот момент времени уровень знаний и возможностей моделей климата ограничивает прогнозирование изменений в климате конкретных регионов.

На основе результатов дополнительных научных исследований и специальных докладов, подготовленных в промежуточный период, рабочая группа I МГЭИК провела оценку нового состояния знаний, которая была представлена в ее Втором докладе об оценках (ВДО<sup>2</sup>) в 1996 г. В этом докладе подчеркивалось, что содержание парниковых газов в атмосфере продолжает возрастать и что для стабилизации концентраций парниковых газов в атмосфере (что является конечной целью статьи 2 Рамочной конвенции об изменении климата) потребуются значительные сокращения выбросов. Далее, общее повышение глобальной температуры продолжается, при этом последние годы были самыми теплыми за период по меньшей мере с 1860 г. Способность моделей климата моделировать наблюдаемые явления и тенденции улучшилась, особенно в связи с включением в модели климата данных о сульфатных аэрозолях и стратосферном озоне как о факторах, вызывающих радиационное воздействие.

<sup>1</sup> Понятие *изменение климата*, используемое МГЭИК, относится к любому происходящему в ходе времени изменению в климате независимо от того, является ли оно результатом естественной изменчивости или деятельности человека. Такое использование этого понятия отличается от его использования в Рамочной конвенции об изменении климата, где *изменение климата* означает такое его изменение, прямыми или косвенными причинами которого является деятельность человека, изменяющая состав глобальной атмосферы, и которое происходит в дополнение к естественной изменчивости климата, наблюдаемой в сопоставимые периоды времени. Определения научных и технических терминов см. в Глоссарии в приложении I к настоящему документу.

<sup>2</sup> Второй доклад об оценках МГЭИК обозначается в настоящем Техническом резюме как ВДО.

**Текстовый блок ТР-1. Что вызывает изменения в климате?**

Земля поглощает излучение, идущее от Солнца, главным образом своей поверхностью. Эта энергия затем перераспределяется за счет циркуляции в атмосфере и океане и отражается обратно в космос в виде более длинноволнового (инфракрасного) излучения. Если рассматривать среднегодовые значения и планету Земля в целом, то энергия входящего солнечного излучения примерно уравнивается исходящим земным излучением. Любой фактор, который изменяет излучение, поступающее от Солнца и потерянное в космосе, или который изменяет перераспределение энергии внутри атмосферы и между атмосферой, сушей и океанами, может повлиять на климат. Изменение в нетто-радиационной энергии, существующей в глобальной системе «Земля-атмосфера», называется в настоящем документе так же, как и в предыдущих докладах МГЭИК, радиационным воздействием. Положительное радиационное воздействие ведет к потеплению на поверхности Земли и в нижних слоях атмосферы. Отрицательное радиационное воздействие охлаждает их.

Повышение концентраций парниковых газов ведет к снижению эффективности, с которой поверхность Земли излучает в космос. Большая часть исходящего от поверхности Земли излучения поглощается атмосферой и повторно излучается на более значительных высотах и при более низких температурах. В результате это ведет к положительному радиационному воздействию, которое нагревает нижние слои атмосферы и поверхность Земли. Поскольку в космос уходит меньше тепла, это вызывает возрастающий парниковый эффект — увеличение эффекта, который существовал в атмосфере Земли в течение миллиардов лет в результате присутствия естественно возникающих парниковых газов: водяного пара, двуокиси углерода, озона, метана и закиси азота. Сила радиационного воздействия зависит от размера повышения концентрации каждого парникового газа, радиационных свойств соответствующих газов и концентраций других, уже присутствующих в атмосфере, парниковых газов. Более того, многие парниковые газы, будучи выброшенными в атмосферу, сохраняются в ней столетиями, создавая тем самым долгосрочные предпосылки для положительного радиационного воздействия.

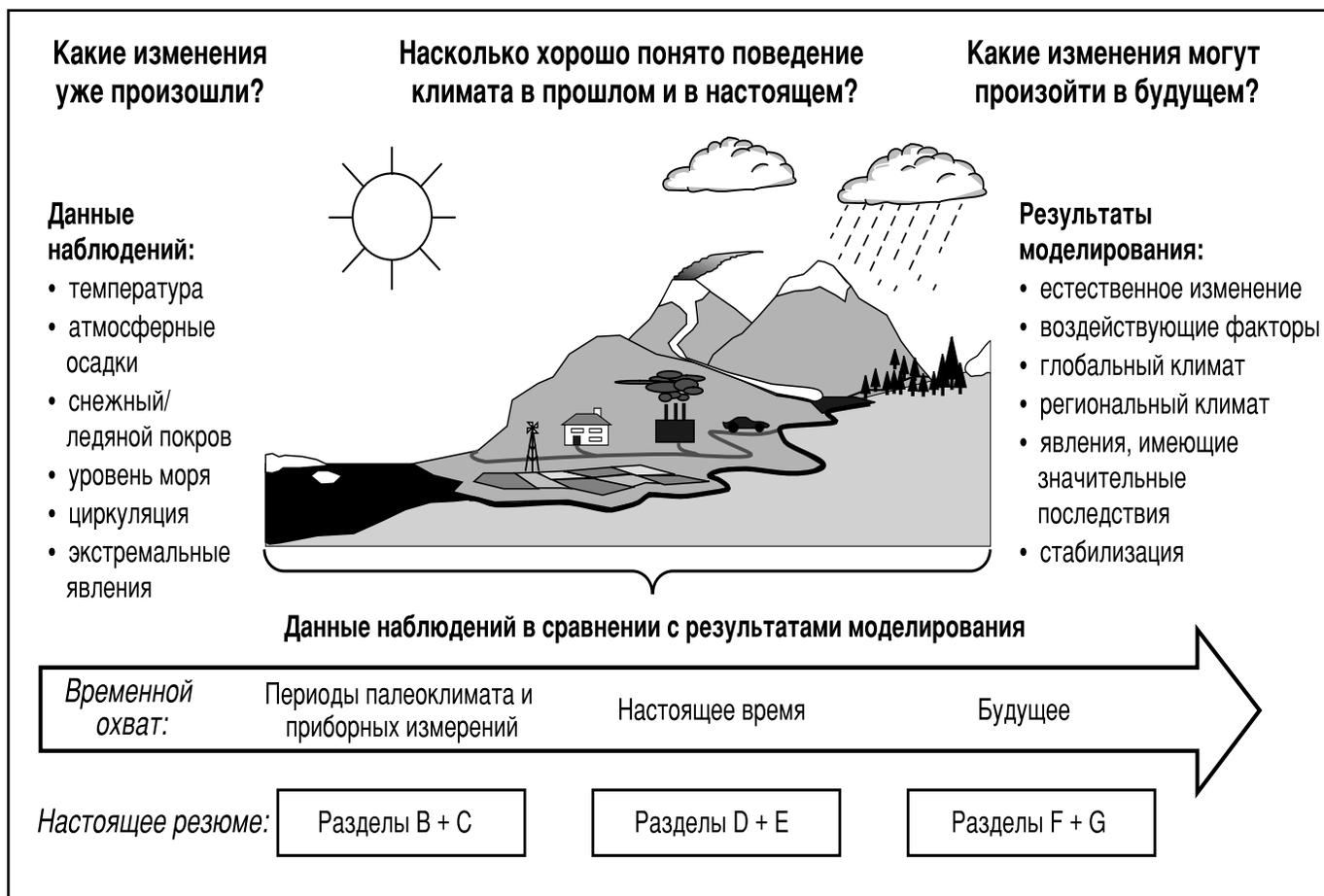
Антропогенные аэрозоли (находящиеся в воздухе микроскопические частицы или капли) в тропосфере, такие, как возникающие в результате сжигания ископаемых видов топлива и биомассы, могут отражать солнечное излучение, вызывая тенденцию охлаждения в климатической системе. Аэрозоль в виде черного угля (сажи), обладая способностью поглощать солнечное излучение, ведет к потеплению климатической системы. Кроме того, изменения в концентрациях аэрозолей могут изменять количество и отражательную способность облаков, влияя на свойства и продолжительность существования облаков. В большинстве случаев находящиеся в тропосфере аэрозоли имеют тенденцию вызывать отрицательное радиационное воздействие и охлаждение климата. Срок их существования в атмосфере является гораздо более коротким (сутки-недели), чем у большинства парниковых газов (десятилетия-столетия) и, соответственно, их концентрации гораздо быстрее реагируют на изменения в выбросах.

При вулканической деятельности в стратосферу могут выбрасываться огромные количества серосодержащих газов (в основном двуокись серы), которые затем преобразуются в сульфатные аэрозоли. Отдельные извержения вулканов могут приводить к возникновению значительного, хотя и временного, отрицательного радиационного воздействия, вызывающего охлаждение поверхности Земли и нижних слоев атмосферы в течение примерно нескольких лет.

Количество энергии, приходящей в виде излучения от Солнца, изменяется в небольших пределах (0,1 %) в течение 11-летнего цикла; кроме того, могут происходить колебания в количестве этой энергии и в течение более продолжительных периодов времени. Медленные колебания в орбите Земли, которые происходят во временных масштабах от десятков до тысяч лет и которые хорошо понятны, приводят к изменениям в сезонном и поширотном распределении солнечной радиации. Эти изменения играли важную роль в регулировании колебаний климата в отдаленном прошлом, например в ледниковых и межледниковых циклах.

Когда радиационное воздействие изменяется, климатическая система дает ответную реакцию в различных временных масштабах. Самые продолжительные периоды реагирования имеют своей причиной значительную теплоемкость глубоких океанов и динамическую адаптацию ледовых щитов. Это означает, что временная реакция на какое-либо изменение (как положительное, так и отрицательное) может продолжаться в течение тысячелетий. Любые изменения в радиационном балансе Земли, включая связанные с повышением концентраций парниковых газов или аэрозолей, будут изменять глобальный гидрологический цикл и атмосферную и океаническую циркуляцию, влияя тем самым на метеорологические структуры и на региональные температуры и атмосферные осадки.

Любые вызванные деятельностью человека изменения в климате будут накладываться на фоновые естественные климатические колебания, которые происходят в большом диапазоне временных и пространственных масштабов. Изменчивость климата может быть связана с естественными изменениями в воздействиях на климатическую систему, например, колебаниями в силе приходящего солнечного излучения и изменениями в концентрациях аэрозолей, возникающих в результате извержений вулканов. Естественные колебания климата могут происходить также и при отсутствии изменений во внешних воздействиях, всего лишь как результат сложных взаимодействий между компонентами климатической системы, например между атмосферой и океаном. Примером такой естественной «внутренней» изменчивости является явление Эль-Ниньо/южное колебание (ЭНСО), происходящее в межгодовых временных масштабах. Для того чтобы отличить антропогенные изменения климата от естественной изменчивости, необходимо идентифицировать антропогенный «сигнал» на фоне «шума» естественной изменчивости климата.



**Рисунок ТР-1.** Ключевые вопросы о климатической системе и ее связи с человеческим обществом. Настоящее Техническое резюме, которое основано на основополагающей информации, содержащейся в главах, является докладом о состоянии знаний по вопросам, представленным на данной схеме.

На основе использования этой способности к моделированию в целях сравнения результатов моделей с наблюдаемыми схемами региональных изменений температуры в том докладе был сделан вывод о том, что способность количественно определять влияние деятельности человека на глобальный климат носит ограниченный характер. Эта ограниченность была связана с тем, что ожидаемый сигнал все еще возникал от «шума» естественной изменчивости и с тем, что существовали неопределенности в других ключевых факторах. Тем не менее, в том докладе был сделан следующий вывод: «Совокупность свидетельств дает основание предположить, что деятельность человека заметно влияет на глобальный климат». И наконец, на основе ряда сценариев содержания парниковых газов в атмосфере в будущем была промоделирована совокупность ответных реакций климатической системы.

### **А.3 Третий доклад об оценках: настоящее Техническое резюме**

Третий основной доклад об оценках рабочей группы I МГЭИК основан на этих прошлых оценках и на результатах научных исследований климата в последние пять лет. Настоящее Техническое резюме основано на основополагающей информации, представленной в главах, на которые даются перекрестные ссылки в примечаниях об источниках информации в

приложении. Целью настоящего Резюме является описание основных характеристик (см. рисунок ТР-1) знаний о климатической системе и об изменении климата в начале XXI столетия. Конкретно поставлены следующие вопросы:

- О чем свидетельствуют зарегистрированные данные наблюдений в отношении изменений климата в прошлом как на глобальном, так и на региональном уровнях, а также в отношении как средних, так и экстремальных значений? (Раздел В)
- Насколько количественно определены факторы, заставляющие климат изменяться, включая явления как естественного характера (например изменения солнечного излучения), так и антропогенного характера (например парниковые газы)? (Раздел С)
- Каковы современные возможности для моделирования ответных реакций климатической системы на эти воздействующие факторы? В частности, насколько хорошо описываются ключевые физические и биогеохимические процессы современными глобальными моделями климата? (Раздел D)
- Основываясь на сегодняшних данных наблюдений и на сегодняшних возможностях прогнозирования климата, что показывает сравнение относительно влияния человека на сегодняшний климат? (Раздел E)

- Далее, на основе использования современных средств прогнозирования, каким может быть возможное будущее климата? В частности, в рамках широкого спектра прогнозов относительно нескольких воздействующих на климат факторов, что прогнозируют современные знания в отношении глобальных температур, региональных структур атмосферных осадков, уровня моря и изменений в экстремальных значениях? (Раздел F)

*И наконец, какие виды научно-исследовательской деятельности являются наиболее срочными для осуществления в целях совершенствования нашего понимания климатической системы и уменьшения неопределенности в отношении изменения климата в будущем.*

Третий доклад об оценках рабочей группы I МГЭИК является результатом труда сотен ученых из развитых и развивающихся стран, которые внесли свой вклад в его подготовку и редактирование. Далее следует резюме их знаний о климатической системе.

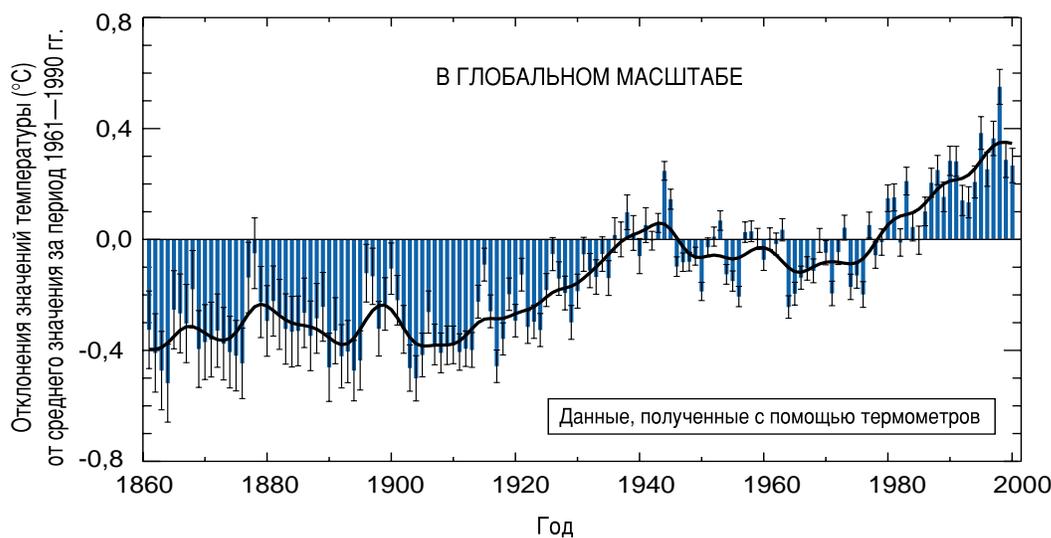
## В. Наблюдаемые изменения в климатической системе

Изменяется ли климат Земли? Ответ однозначен: «Да». Совокупность данных наблюдений подтверждает этот вывод и дает представление о скорости происходящих изменений. Эти данные являются также основой, на которой можно построить ответ на более сложный вопрос: «Почему он изменяется?», который рассматривается в последующих разделах.

В настоящем разделе представлено обновленное резюме данных наблюдений, дающее представление о том, как климатическая система изменялась в прошлом. Многие

переменные климатической системы были измерены непосредственно, т. е. о них имеются «данные, зарегистрированные приборами». Например, повсеместные прямые измерения приземной температуры начали проводиться еще с середины XIX столетия. Наблюдения за другими приземными «погодными» переменными, такими, как атмосферные осадки и ветры, почти в глобальном масштабе проводятся в течение вот уже примерно 100 лет. Изменения уровня моря проводятся в некоторых местах уже более 100 лет, однако сеть мареографов, обеспечивающих продолжительные временные ряды данных, имеет лишь ограниченный глобальный охват. Аэрологические наблюдения начали систематически проводиться лишь с конца 40-х годов. Имеются также продолжительные временные ряды зарегистрированных данных наблюдений за поверхностью океана, проводившихся с морских судов примерно с середины XIX столетия и со специальных буев примерно с конца 70-х годов. За период с конца 40-х годов имеются также и данные измерений температуры подповерхностного слоя океана с почти глобальным охватом. За период с конца 70-х годов имеются также и другие данные, полученные с помощью спутников для наблюдения за Землей, которые используются для обеспечения широкого диапазона данных глобальных наблюдений за различными компонентами климатической системы. Кроме того, всевозрастающая совокупность палеоклиматических данных, например данных: о деревьях, кораллах, отложениях и льде — дает информацию о климате Земли, существовавшем столетия и тысячелетия тому назад.

В настоящем разделе особое внимание уделяется текущим знаниям о происходивших в прошлом изменениях ключевых климатических переменных, а именно: температуры, осадков и влажности атмосферы, снежного покрова, протяженности материкового и морского льда, уровня моря, структур атмосферной и океанической циркуляции,



**Рисунок TP-2.** Совокупные годовые аномалии температуры (°C) воздуха над поверхностью суши и поверхности моря в период с 1861 г. по 2000 г. по отношению к периоду с 1961 г. по 1999 г. Две неопределенности, связанные со среднеквадратической ошибкой, показаны в виде столбиков на ежегодных значениях. [Основан на рисунке 2.7c]

экстремальных метеорологических и климатических явлениях, а также в общих характеристиках изменчивости климата. В заключительной части настоящего раздела приводится сопоставление наблюдаемых тенденций в этих различных климатических показателях, с тем чтобы определить, какова же общая складывающаяся картина. Степень этой внутренней согласованности является одним из ключевых факторов в оценке уровня достоверности современного понимания климатической системы.

### **В.1 Наблюдаемые изменения в температуре**

#### **Данные о температуре суши и океанов, зарегистрированные приборами**

Глобальная средняя приземная температура за период с конца XIX столетия возросла на  $0,6 + 0,2$  °С<sup>3</sup>. Весьма вероятно, что 1990-е годы были самым теплым десятилетием, а 1998 г. — самым теплым годом за все время инструментальных измерений, начиная с 1861 г. (см. рисунок TP-2). Основная причина увеличившегося оценочного значения глобального потепления на  $0,15$  °С за период после выхода ВДО заключается в рекордном потеплении в дополнительно включенные в анализ шесть лет (1995—2000 гг.) сбора данных. Вторая причина заключается в усовершенствовании методов оценки изменения. Современный, несколько более широкий диапазон неопределенностей ( $+ 0,2$  °С, доверительный интервал — 95 %) также обоснован более объективно. Кроме того, в период после выхода ВДО научная основа для обеспечения достоверности оценок повышения глобальной температуры в период с конца XIX столетия укрепилась. Это произошло благодаря более совершенным выводам, сделанным в ходе нескольких новых исследований. Сюда входят: независимая проверка поправок, используемых для зависящих от времени отклонений в данных о температуре поверхности моря, и новые анализы влияния городских «островов тепла» на тренды глобальной температуры на суше. Как показано на рисунке TP-2, большая часть повышения глобальной температуры в период с конца XIX столетия пришлось на два четко определенных периода: с 1910 г. по 1945 г. и после 1976 г. Темпы повышения температуры в оба этих периода составляют примерно  $0,15$  °С в десятилетие. Происходящее в последнее время потепление является более сильным на суше, чем в районах океанов; повышение температуры поверхности моря в период с 1950 г. по 1993 г. составляет примерно половину от повышения средней температуры воздуха над поверхностью суши. Высокая глобальная температура, ассоциирующаяся с явлением Эль-Ниньо 1997—1998 гг., рассматривается в качестве экстремального явления даже с учетом наблюдающихся в последнее время темпов потепления.

*Региональные структуры потепления, наблюдавшиеся в первой половине XX столетия, отличаются от таких структур,*

*наблюдавшихся во второй половине этого столетия. На рисунке TP-3 показаны региональные структуры потепления, наблюдавшиеся в течение всего XX столетия, а также в три составляющих его периода времени. В самый последний период потепления (с 1976 г. по 1999 г.) оно носило почти глобальный характер, однако самое значительное повышение температуры при этом наблюдалось в средних и высоких широтах континентов в северном полушарии. Округленные по годам значения свидетельствуют об охлаждении в северо-западной части Северной Атлантики и в центре северной части Тихого океана, однако тенденция охлаждения в Северной Атлантике в последнее время сменилась на обратную. Было показано, что наблюдающиеся в последнее время региональные структуры изменения температуры соотносятся, частично, с различными фазами атмосферно-океанических колебаний, таких, как североатлантическое-арктическое колебание и, возможно, Тихоокеанское десятилетнее колебание. В связи с этим региональные тенденции температуры в течение нескольких десятилетий могут находиться под сильным влиянием региональной изменчивости в климатической системе и могут заметно отклоняться от глобального среднего значения. Потепление в период с 1910 г. по 1945 г. первоначально концентрированно происходило в Северной Атлантике. В противоположность этому в период с 1946 г. по 1975 г. в Северной Атлантике наблюдалось значительное похолодание так же, как и на большей части территорий в северном полушарии; в это же время на большей части территории южного полушария наблюдалось потепление.*

*Новые анализы свидетельствуют о том, что глобальное теплосодержание океанов значительно возросло с конца 1950-х годов. Более половины этого увеличения теплосодержания произошло в верхнем слое океана до глубины 300 м, что было эквивалентно темпам повышения температуры в этом слое примерно на  $0,04$  °С в десятилетие.*

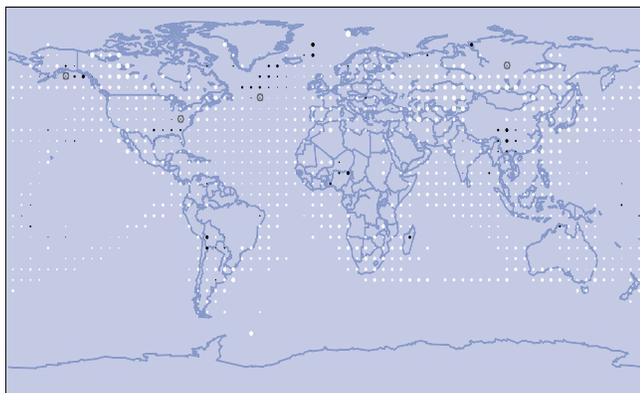
*Новые анализы максимальных суточных температур на поверхности суши за период с 1950 г. по 1993 г. продолжают свидетельствовать о том, что эта мера суточного диапазона температур уменьшается в очень многих точках земного шара, хотя и не везде. В среднем минимальные температуры возрастают примерно в два раза быстрее максимальных температур ( $0,2$  против  $0,1$  °С в десятилетие).*

#### **Температуры над приземным слоем по данным со спутников и метеорологических шаров-зондов**

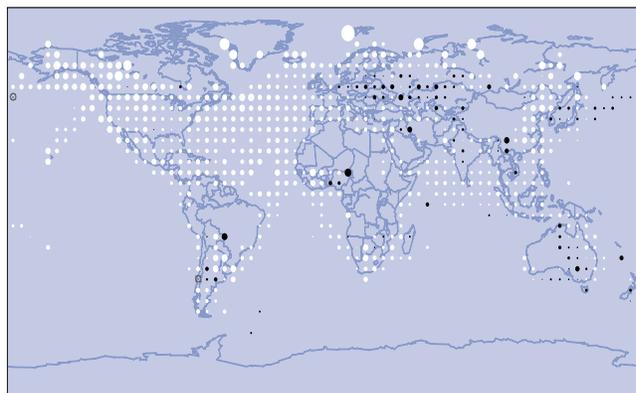
*Данные измерений температуры на поверхности, с шаров-зондов и со спутников показывают, что в тропосфере и на поверхности Земли происходило потепление, а в стратосфере происходило охлаждение. За тот короткий период времени, в течение которого проводились измерения как со спутников, так и с метеорологических шаров-зондов (начиная с 1979 г.), данные, полученные с шаров-зондов и со спутников, показывают, что в нижнем слое тропосферы*

<sup>3</sup> Как правило, тренды температуры округляются до ближайших  $0,05$  °С за единицу времени; периоды при этом часто ограничиваются наличием данных.

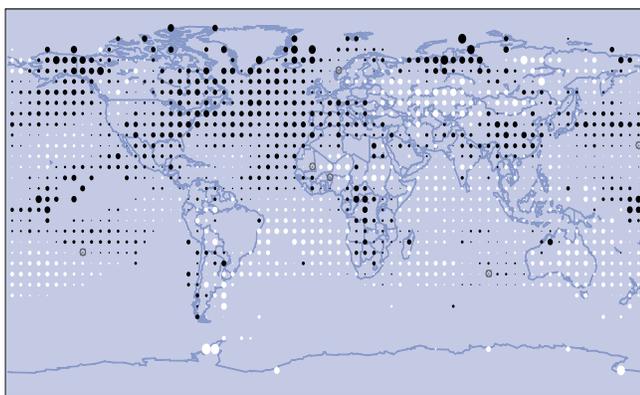
а) Тренды годовой температуры, 1901—2000 гг.



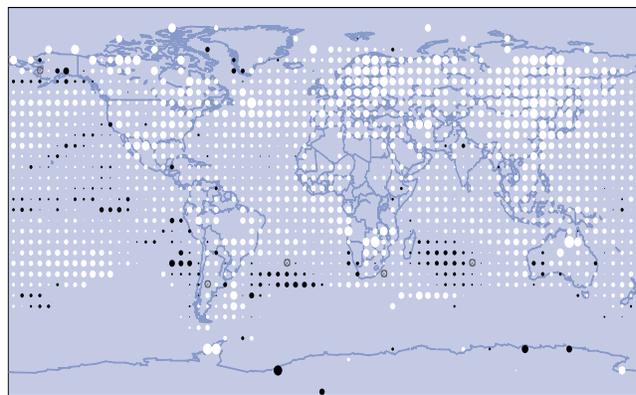
б) Тренды годовой температуры, 1910—1945 гг.



в) Тренды годовой температуры, 1946—1975 гг.



д) Тренды годовой температуры, 1976—2000 гг.

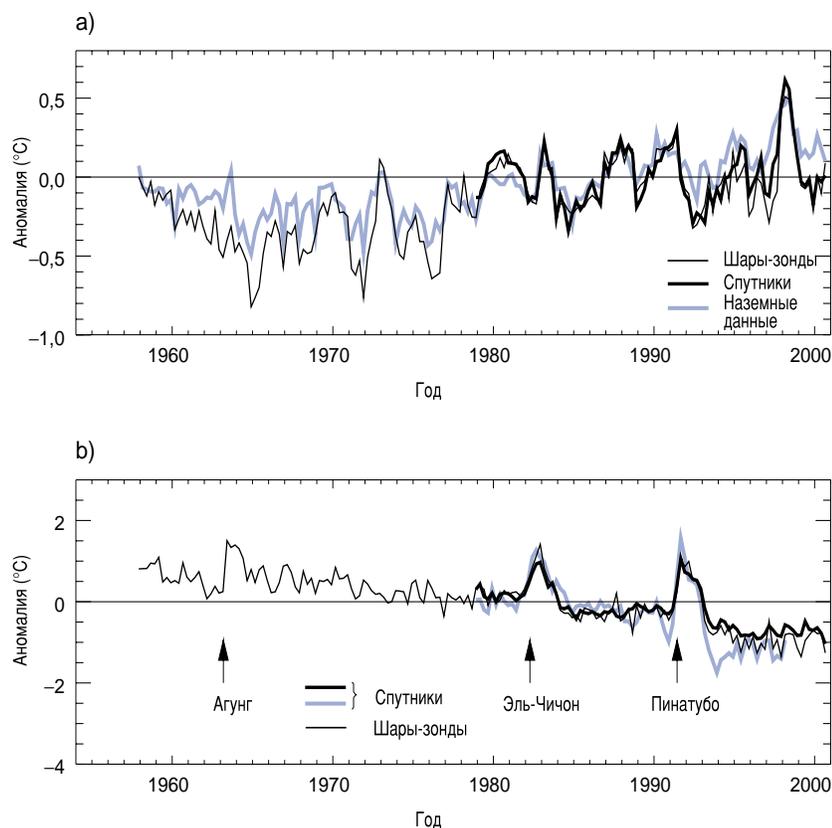


**Рисунок ТР-3.** Тренды годовой температуры за периоды соответственно 1901—1999 гг., 1910—1945 гг., 1946—1975 гг. и 1976—1999 гг. Тренды представлены областями с нанесенными на них кружочками, где белый цвет означает увеличение, черный цвет — уменьшение и синий цвет — незначительное изменение или его отсутствие. Тренды рассчитаны на основе нанесенных на сетку годовых усредненных аномальных значений с соблюдением условия, что в расчет годовых аномалий включены данные как минимум за 10 месяцев. Что касается периода 1901—1999 гг., тренды были рассчитаны только для тех квадратов сетки, в которых содержались данные о годовых аномалиях как минимум за 66 лет из 100 лет. Минимальное количество лет, требовавшихся для расчетов за более короткие периоды времени (1910—1945 гг., 1946—1975 гг. и 1976—1999 гг.) составляло соответственно 24, 20 и 16 лет. [Основано на рисунке 2.9]

потепление было значительно меньше, чем наблюдавшееся на поверхности. Результаты анализов трендов температуры в период с 1958 г. для нижних 8 км атмосферы и для поверхности Земли хорошо согласуются между собой, как это показано на рисунке ТР-4а, при потеплении, составлявшем примерно  $0,1$  °С в десятилетие. Однако начиная с 1979 г., когда начали проводиться измерения со спутников, данные о температуре, полученные как со спутников, так и с метеорологических шаров-зондов, свидетельствуют о потеплении в среднем-нижнем слое глобальной тропосферы со скоростью примерно  $0,05 + 0,10$  °С в десятилетие. Глобальная средняя приземная

температура возрастала значительными темпами на  $0,15 + 0,05$  °С в десятилетие. Эта разница в темпах потепления является статистически значимой. В отличие от этого, в период с 1958 г. по 1978 г. тренды приземной температуры были около 0, а тренды в нижних 8 км атмосферы соответствовали повышению примерно в  $0,2$  °С в десятилетие. Примерно половина наблюдающейся разницы в потеплении в период с 1979 г., вероятно<sup>4</sup>, может быть объяснена сочетанием расхождений в пространственном охвате данными приземных и тропосферных наблюдений и физических последствий ряда извержений вулканов и значительного проявления явления Эль-Ниньо (общее описание ЭНСО см.

<sup>4</sup> В настоящем Техническом резюме и в Резюме для лиц, определяющих политику, для обозначения приблизительных субъективных оценок степени достоверности используются следующие понятия: *практически достоверно* (вероятность более 99 % того, что результат является правильным); *вероятно* (90—99 % вероятности); *средняя вероятность* (33—66 % вероятности); *маловероятно* (10—33 % вероятности); *весьма маловероятно* (1—10 % вероятности); *исключительно маловероятно* (вероятность менее 1 %). С более подробными сведениями читатель может ознакомиться в соответствующих отдельных главах.



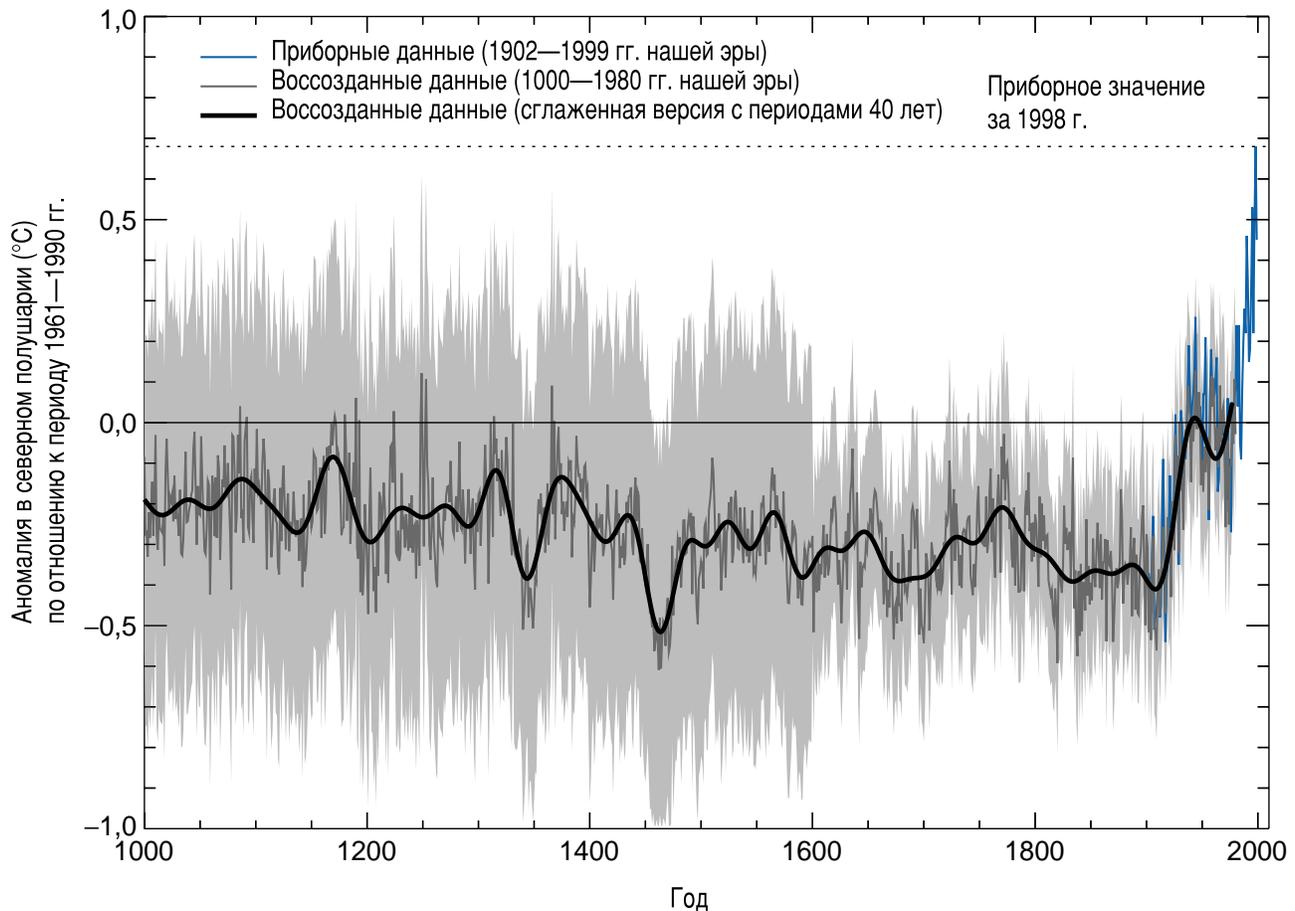
**Рисунок TP-4.** а) Временные ряды аномальных значений сезонной температуры в тропосфере на основе данных, полученных с шаров-зондов и со спутников в дополнение к наземным данным. б) Временные ряды аномальных значений сезонной температуры нижнего слоя стратосферы. [Основано на рисунке 2.12]

в текстовом блоке TP-4), которые произошли в этот период. Остальная часть указанной разницы является, по всей вероятности, реальной и не связана с отклонениями в данных наблюдений. Она возникает в основном из-за различий в темпах изменения температуры над тропическими и субтропическими регионами, которые были более быстрыми в нижних 8 км атмосферы до приблизительно 1979 г., но которые затем замедлились. Никаких значительных расхождений в темпах потепления над средними широтами континентов в северном полушарии не наблюдалось. Что касается верхнего слоя тропосферы, никаких значительных глобальных трендов температуры в период с начала 1960-х годов обнаружено не было. В том, что касается стратосферы, то, как показано на рисунке TP-4б, данные, полученные как со спутников, так и с шаров-зондов, свидетельствуют о значительном охлаждении, прерывавшемся резкими эпизодами потепления длительностью от одного до двух лет, которые были связаны с извержениями вулканов.

#### **Приземные температуры в период до начала инструментальных наблюдений, полученные на основе косвенных данных**

Темпы и продолжительность потепления в XX столетии, вероятно, являются самыми значительными, чем в каких-либо другие времена в течение последних 1000 лет. 1990-е годы, вероятно, были самым теплым десятилетием за последнее тысячелетие в северном полушарии, а 1998 г., вероятно, был самым теплым годом. В понимании явления изменения температуры, происходившего в течение

последнего тысячелетия, был достигнут значительный прогресс, особенно благодаря синтезу отдельных работ по воссозданию данных о температуре. Эти новые подробные данные о температуре для северного полушария показаны на рисунке TP-5. Эти данные свидетельствуют о сравнительно теплом периоде, ассоциирующимся с XI—XIV столетиями, и о сравнительно холодном периоде, ассоциирующимся с XV—XIX столетиями, в северном полушарии. При этом, однако, имеющиеся свидетельства не могут служить доказательством того, что эти периоды, т. е. соответственно «средневековый теплый период» и «малый ледниковый период», происходили синхронно по всему земному шару. Как показывает рисунок TP-5, темпы и продолжительность потепления в северном полушарии в XX столетии представляются беспрецедентными за всё последнее тысячелетие, и их нельзя рассматривать просто как восстановление после «малого ледникового периода» XV—XIX столетий. Эти анализы дополнены анализами чувствительности в отношении пространственной представительности имеющихся палеоклиматических данных, которые свидетельствуют о том, что потепление в последнее десятилетие выходит за пределы доверительного интервала неопределенности температуры в 95 %, даже во время самых теплых периодов в последнее тысячелетие. Более того, к сегодняшнему дню завершено проведение нескольких различных анализов, каждый из которых дает основание предположить, что температуры в северном полушарии в последнее десятилетие были выше, чем в любое другое время в последние 6—10 столетий. Это тот отрезок



**Рисунок ГР- 5.** Температура за тысячелетний период (с 1000 г. по 1999 г. нашей эры) в северном полушарии (СП) на основе воссозданных данных (серый цвет — годовые кольца деревьев, кораллы, керны льда и исторически зарегистрированные данные) и данных, полученных с помощью приборов (синий цвет). Показаны сглаженная версия рядов данных по СП (черный цвет) и два предельных значения среднеквадратической ошибки (светло-серый цвет). [Основано на рисунке 2.20]

времени, за который значения температуры с годовым разрешением могут быть рассчитаны путем использования собранных в масштабе полушария косвенных данных, как-то: годовые кольца деревьев, керны льда, кораллы и другие косвенные данные с годовым разрешением. Что же касается среднегодовых значений в более ранние, чем 1000 лет тому назад, периоды и условий, существовавших на большей части южного полушария до 1861 г., из-за недостатка необходимых данных знания о них меньше.

Вероятно, что значительные быстрые изменения температуры в течение десятилетий происходили во время последнего ледникового периода и отступления ледников после него (в период между приблизительно 100 000 и 10 000 лет тому назад), особенно в высоких широтах северного полушария. В некоторых местах во время отступления ледников повышения температуры в локальном масштабе составляли, вероятно, от 5 до 10 °С в столь короткие периоды, как несколько десятилетий. Появляются свидетельства того, что в течение последних 10 000 лет происходили быстрые значительные изменения температуры в региональном масштабе, являющиеся составной частью естественной изменчивости климата.

## В.2 Наблюдаемые изменения в количестве атмосферных осадков и во влажности атмосферы

В период, прошедший после выхода ВДО, годовое количество атмосферных осадков, выпадающих на сушу, продолжало возрастать в средних и высоких широтах северного полушария (весьма вероятно, от 0,5 до 1 % в десятилетие), за исключением восточной части Азии. В субтропиках (10° с. ш.—30° с. ш.) количество дождевых осадков, выпадающих на поверхность суши, в среднем уменьшалось (вероятно, примерно на 0,3 % в десятилетие), хотя в последние годы наметилась обратная тенденция. Данные измерений атмосферных осадков на поверхности суши в тропиках свидетельствуют о том, что количество осадков, вероятно, возросло примерно на 0,2—0,3 % в десятилетие в течение XX столетия, однако увеличение количества осадков не столь очевидно в последние несколько десятилетий, а территории суши (по сравнению с океанами) в тропической зоне на широтах от 10° с. ш. до 10° ю. ш. сравнительно невелики. Тем не менее, данные прямых измерений осадков и проведенные с помощью моделей повторные анализы выведенных логически количеств осадков показывают, что

количество дождевых осадков также увеличилось над большими территориями тропических океанов. Там, где имеются данные по определенным точками и за определенные промежутки времени, видно, что изменения в годовых показателях речных стоков часто хорошо соотносятся с изменениями в общем количестве осадков. Увеличения в количестве атмосферных осадков на территориях суши в средних и высоких широтах северного полушария убедительно коррелируются с долгосрочными увеличениями в общем количестве облаков. В отличие от северного полушария, в южном полушарии никаких сопоставимых систематических изменений в атмосферных осадках при использовании общих поширотных усредненных значений обнаружено не было.

*Вероятно, что общее количество водяного пара в атмосфере над многими регионами северного полушария возрастало на несколько процентов в десятилетие.* Изменения в количестве водяного пара приблизительно за последние 25 лет были проанализированы для отдельных регионов с использованием данных приземных наблюдений в точках, а также данных измерений в нижнем слое тропосферы с помощью спутников и метеорологических шаров-зондов. При анализе наиболее надежных комплектов данных вырисовывается картина общего увеличения количества водяного пара над поверхностью и в нижнем слое тропосферы в последние несколько десятилетий, хотя в этих данных, вероятно, имеются зависящие от времени отклонения и региональные колебания в трендах. Количество водяного пара в нижнем слое стратосферы в период с начала регистрации данных наблюдений (1980 г.) также, вероятно, увеличивалось примерно на 10 % за десятилетие.

*Данные об изменениях в общем количестве облаков над территориями континентов в средних и высоких широтах северного полушария свидетельствуют о вероятном увеличении облачного покрова в период с начала XX столетия примерно на 2 %, что, как сегодня показано, положительно коррелируется с уменьшениями в суточном диапазоне температур.* Было показано, что аналогичные изменения происходят и над Австралией — единственным континентом южного полушария, где были завершены анализы соответствующих данных. В том, что касается территорий суши в субтропической и тропической зонах, а также океанов, знания об изменениях в общем количестве облаков являются неопределенными.

### **В.3 Наблюдаемые изменения в протяженности снежного покрова и материкового и морского льда**

*Уменьшение протяженности снежного покрова и материкового льда по-прежнему положительно коррелируется с увеличением температур на поверхности суши.* Полученные со спутников данные показывают, что в период с конца 1960-х годов протяженность снежного покрова, весьма вероятно, уменьшилась примерно на 10 %. Существует ярко выраженная корреляция между повышением температур на суше в северном полушарии и

таким уменьшением. На сегодняшний день имеется много свидетельств в поддержку того, что альпийские и континентальные ледники отступают в ответ на потепление в XX столетии. В нескольких морских районах увеличение количества атмосферных осадков вследствие региональных изменений в атмосферной циркуляции было более значительным, чем повышение в температуре в последние два десятилетия, и ледники начали вновь наступать. Данные наземных наблюдений показывают, что в последние 100—150 лет годовая продолжительность присутствия льда на озерах и реках в средних и высоких широтах северного полушария, весьма вероятно, уменьшилась примерно на две недели.

*Количество морского льда в северном полушарии уменьшается, однако в Антарктике никаких значительных тенденций в протяженности морского льда не отмечается.* Происходящее с 1950-х годов уменьшение количества морского льда в Арктике в весенний и летний периоды на 10—15 % согласуется с повышением весенних температур и, в меньшей степени, летних температур в высоких широтах. Мало указаний на то, что протяженность морского льда в Арктике в зимний период, температуры в который в окружающих регионах повысились, уменьшается. В отличие от Арктики, нет никаких явных свидетельств взаимосвязи между десятилетними изменениями температур и протяженностью морского льда в Антарктике в период с 1973 г. После первоначального уменьшения в середине 1970-х годов протяженность морского льда в Антарктике оставалась стабильной или даже слегка увеличивалась.

*Новые данные указывают на то, что, вероятно, толщина морского льда в Арктике уменьшалась приблизительно на 40 % в конце лета — начале осени между периодом 1958—1976 гг. и серединой 1990-х годов при значительно меньшем уменьшении в зимний период.* То, что эти данные были собраны за сравнительно короткий период, а выборка является неполной, ограничивает возможности толкования этих данных. На эти изменения могли оказывать влияние межгодовая и междесятилетняя изменчивость.

### **В.4 Наблюдаемые изменения в уровне моря**

#### ***Изменения в период, за который имеются приборные данные***

*На основе данных, полученных с помощью мареографов, можно сделать вывод, что темпы повышения глобального среднего уровня моря в течение XX столетия находились в диапазоне от 1,0 до 2,0 мм/год; при этом центральное значение составило 1,5 мм/год (центральное значение не следует истолковывать как наилучшую оценку).* (См. информацию о факторах, которые влияют на уровень моря, в текстовом блоке ТР-2). Как показано на рисунке ТР-6, самые продолжительные временные ряды приборных данных (самое большое за два или три столетия) о местном уровне моря получены от мареографов. На основе нескольких рядов зарегистрированных за продолжительный период данных мареографов можно

сделать вывод, что средние темпы повышения уровня моря были в течение XX столетия больше, чем в течение XIX столетия. Никакого значительного ускорения темпов повышения уровня моря в течение XX столетия обнаружено не было. Такие результаты нельзя считать несомнительными с результатами моделей, поскольку следует учитывать наличие компенсирующих факторов и ограниченность имеющихся данных.

### **Изменения в период до начала инструментальных наблюдений**

*После последнего ледникового максимума примерно 20 000 лет тому назад, уровень моря в местах, находящихся далеко от современных и существовавших в прошлом ледовых щитов,*

*поднялся более чем на 120 м в результате потери массы этих ледовых щитов.* В ответ на эти значительные перемещения массы из ледовых щитов в океаны до сих пор все еще происходят вертикальные движения суши вверх и вниз. Самое быстрое повышение глобального уровня моря происходило в период между 15 000 и 6 000 лет тому назад, когда средние темпы составляли примерно 10 мм/год. На основе геологических данных можно считать, что эвстатический уровень моря (т. е. соответствующий изменению в объеме океана), возможно, повышался со средними темпами в 0,5 мм/год в последние 6 000 лет и со средними темпами в 0,1—0,2 мм/год в последние 3 000 лет. Такие темпы составляют примерно одну десятую от темпов, наблюдавшихся в течение XX столетия. Маловероятно, что в последние 3 000—5 000 лет

#### **Текстовый блок TP-2. Что заставляет уровень моря изменяться?**

Уровень моря на береговой линии определяется многими факторами глобальной окружающей среды, которые действуют в большом диапазоне временных масштабов начиная от часов (приливы-отливы) до миллионов лет (изменения океанского бассейна в результате тектонических явлений и осадений). Во временном масштабе от десятилетий до столетий некоторые из значительных воздействий на средние уровни моря связаны с климатическими процессами и изменением климата.

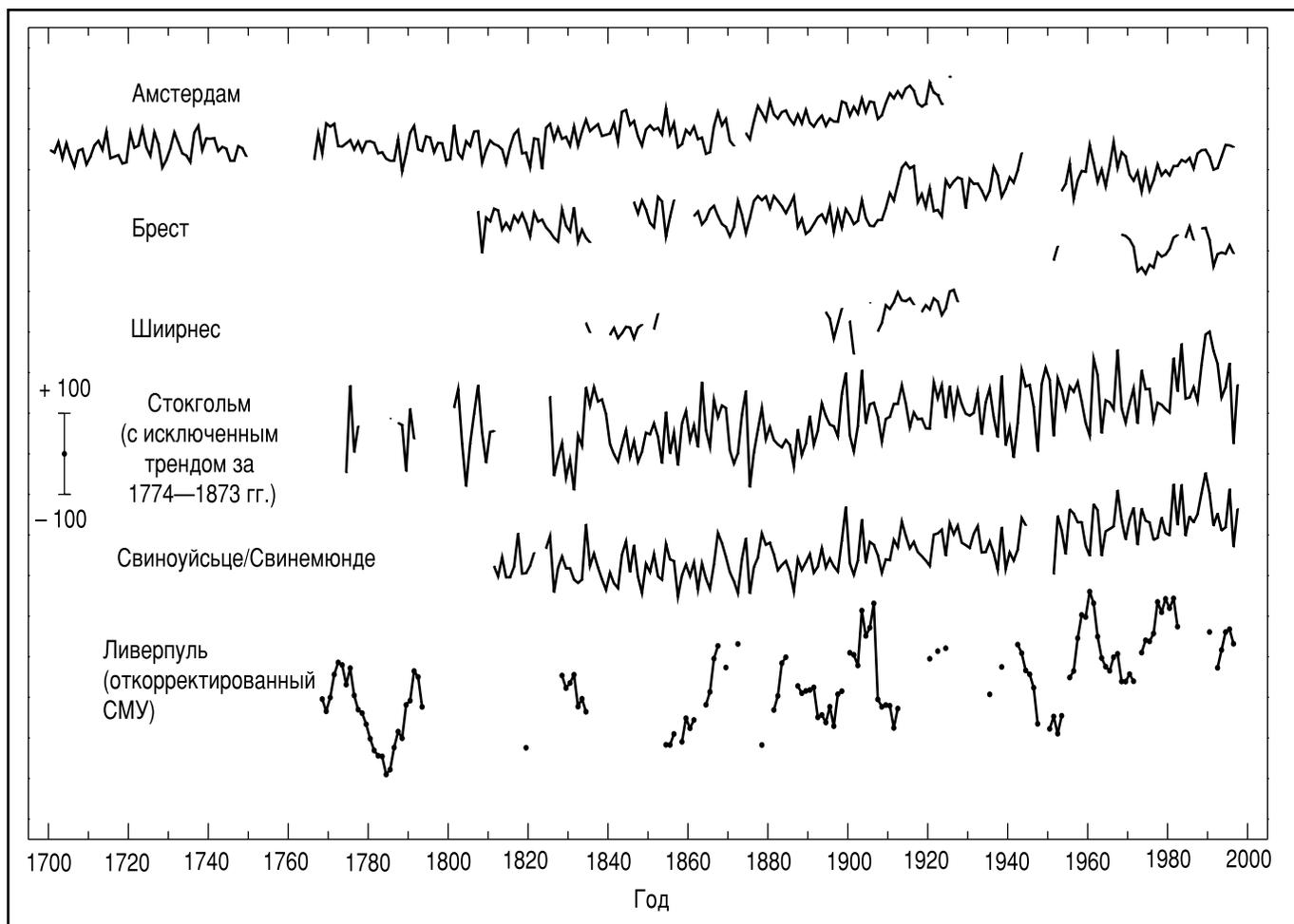
Во-первых, по мере того как вода в океане нагревается, она расширяется. На основе данных наблюдений за температурами в океане и результатов работы с моделями можно сделать вывод, что тепловое расширение является одним из основных факторов, способствующих историческим изменениям уровня моря. Далее предполагается, что тепловое расширение внесло самый большой вклад в повышение уровня моря в течение последних 100 лет. Температуры в глубинах океана изменяются очень медленно; соответственно, тепловое расширение будет продолжаться в течение многих столетий, даже если концентрации парниковых газов в атмосфере удастся стабилизировать.

Величина потепления и глубина воды, на которую оно действует, варьируется в зависимости от местонахождения. Кроме того, при каком-либо заданном изменении температуры более теплая вода расширяется в большей степени, чем более холодная вода. Географическое распределение изменения уровня моря зависит от связанных с географией колебаний теплового расширения, изменений солености, ветров и океанической циркуляции. Диапазон региональных колебаний значителен по сравнению с глобальным средним повышением уровня моря.

Уровень моря изменяется также в зависимости от увеличения или уменьшения массы воды в океанах. Такие изменения наблюдаются, когда происходит обмен воды между океанами и запасами воды на суше. Основной запас воды на суше — это вода, замерзшая в ледниках или ледовых щитах. Действительно, основной причиной более низкого

уровня моря в течение последнего ледникового периода являлось замораживание воды в больших количествах на огромных пространствах ледовых щитов на континентах в северном полушарии. После теплового расширения самый крупный вклад в повышение уровня моря в течение следующих 100 лет внесет, согласно предположениям, таяние горных ледников и ледниковых куполов. Эти ледники и ледниковые купола составляют лишь несколько процентов от покрытых льдом территорий суши на земном шаре, однако они более чувствительны к изменению климата, чем более крупные ледовые щиты в Гренландии и в Антарктике, поскольку эти ледовые щиты находятся в более холодном климате с меньшим количеством осадков и с более медленными темпами таяния. Соответственно, крупные ледовые щиты, как предполагается, внесут лишь небольшой чистый вклад в изменение уровня моря в предстоящие десятилетия.

На уровень моря влияют также и процессы, которые не связаны напрямую с изменением климата. Запасы воды на суше (и, соответственно, уровень моря) могут измениться в результате изъятия подземных вод, строительства водохранилищ, изменений в поверхностном стоке и просачивания воды из водохранилищ и ирригационных систем в более глубокие водоносные слои. Эти факторы могут компенсировать значительную долю ожидаемого ускорения повышения уровня моря в результате теплового расширения и таяния ледников. Кроме того, просадка грунта на побережьях в дельтах рек также может повлиять на местный уровень моря. Вертикальное движение суши, вызываемое естественными геологическими процессами, такими, как медленное движение мантии Земли и тектонические перемещения земной коры, могут оказывать на местный уровень моря такое влияние, которое сопоставимо с влиянием климата. И наконец, в сезонных, межгодовых и десятилетних временных масштабах уровень моря реагирует на изменения в динамике атмосферы и океана, наиболее впечатляющим примером чего может служить влияние явлений Эль-Ниньо.



**Рисунок TP-6.** Временные ряды данных об относительном уровне моря в последние 300 лет в Северной Европе: Амстердам, Нидерланды; Брест, Франция; Шиирнесс, СК; Стокгольм, Швеция (с исключенным трендом за период 1774—1873 гг. с целью приведения к первому порядку вклада послеледникового восстановления); Свиноуйсьце Польша (бывший Свинемюнде, Германия); и Ливерпуль, СК. Данные по последнему — это данные об «откорректированном среднем максимальном уровне», а не о среднем уровне моря, и они включают узловый (18,6 года) терм. Вертикальный столбик масштаба означает  $\pm 100$  мм. [Основано на рисунке 11.7]

колебания глобального уровня моря во временных масштабах от 100 до 1000 лет превышали 0,3—0,5 м.

### В.5 Наблюдаемые изменения в структурах атмосферной и океанической циркуляции

Поведение явления ЭНСО (см. общее описание в текстовом блоке TP-4) стало необычным начиная с середины 1970-х годов по сравнению с предыдущими 100 годами; при этом теплая фаза эпизодов ЭНСО стала сравнительно более частой, устойчивой и интенсивной, чем противоположная холодная фаза. Это поведение ЭНСО в последнее время находит отражение в колебаниях значений атмосферных осадков и температуры над большей частью тропических и субтропических зон земного шара. Общее влияние, вероятно, внесло небольшой вклад в повышение глобальной температуры в течение нескольких последних десятилетий. Междесятилетнее тихоокеанское колебание и Тихоокеанское десятилетнее колебание ассоциируется с десятилетней—многодесятилетней изменчивостью климата в бассейне Тихого океана. Вероятно, что эти колебания модулируют связанную с ЭНСО изменчивость климата.

Определяются и другие важные свойства циркуляции, которые влияют на климат на больших территориях земного шара. Североатлантическое колебание (САК) связано с силой западных ветров над Атлантикой и внетропической частью Евразии. В зимний период САК проявляется в виде нерегулярных колебаний в межгодовых—многодесятилетних временных масштабах. Начиная с 1970-х годов САК в зимний период часто находилось в такой фазе, которая способствует усилению западных ветров, что коррелируется с потеплением в холодный сезон над Евразией. Новые свидетельства указывают на то, что САК и изменения в морском льде в Арктике, вероятно, тесно связаны. Сегодня считается, что САК является частью более масштабного атмосферного арктического колебания, которое оказывает влияние на большую часть внетропических территорий северного полушария. Аналогичное антарктическое колебание находилось в течение последних 15 лет в активной положительной фазе, характеризуясь более сильными западными ветрами над Южным океаном.

### **В.6 Наблюдаемые изменения в изменчивости климата и в экстремальных метеорологических и климатических явлениях**

Новые анализы показывают, что в тех регионах, где общее количество атмосферных осадков увеличилось, весьма вероятно, что еще более явно проявилось увеличение явлений интенсивных и экстремальных осадков. Отмечается также и противоположная тенденция. Тем не менее, в некоторых регионах интенсивные и экстремальные явления (т. е. определенные как находящиеся в рамках верхних или нижних десяти перцентилей) увеличились несмотря на тот факт, что общее количество осадков уменьшилось или осталось постоянным. Это объясняется уменьшением частоты явлений выпадения осадков. В целом вероятно, что для многих территорий в средних и высоких широтах, главным образом в северном полушарии, статистически значимые увеличения произошли пропорционально общему годовому количеству осадков, выведенному из данных об интенсивных и экстремальных явлениях выпадения осадков; вероятно, что во второй половине XX столетия частота явлений интенсивных осадков возросла на 2—4 %. В течение XX столетия (1900—1995 гг.) отмечалось сравнительно небольшое увеличение территорий суши на земном шаре, на которых ощущались бы суровые засухи или суровые условия влажности. В некоторых регионах, таких, как части Азии и Африки, частота и интенсивность засух в последние десятилетия возросли. Во многих регионах над такими изменениями доминирует междесятилетняя и многодесятилетняя изменчивость климата, такая, как перемена в явлении ЭНСО в направлении более теплых явлений. Во многих регионах межсуточная изменчивость температуры уменьшилась, а повышение минимальной температуры в дневное время привело к удлинению свободного от заморозков периода в большинстве регионов в средних и высоких широтах. Начиная с 1950 г., весьма вероятно, что на большей части земного шара происходило значительное уменьшение частоты возникновения сезонных средних температур, которые были бы гораздо ниже нормы, в то время как частота возникновения сезонных температур, которые были бы гораздо выше нормы, несколько возросла.

Не существует никаких убедительных свидетельств того, что характеристики тропических и внетропических штормов изменились. Над изменениями в интенсивности и частоте тропических штормов доминируют междесятилетние-многодесятилетние колебания, которые могут быть значительными, например в тропической зоне Северной Атлантики. Вследствие неполноты данных и ограниченности и противоречивости анализов остается неопределенным, происходили ли долгосрочные и крупномасштабные увеличения интенсивности и частоты внетропических циклонов в северном полушарии. В течение нескольких последних десятилетий определялись региональные увеличения в северной части Тихого океана, в отдельных частях Северной Америки и в Европе. Что же касается южного полушария, то в его отношении было

проведено меньше анализов; тем не менее, они позволяют считать, что там в период с 1970-х годов произошло уменьшение активности внетропических циклонов. Проведенные в последнее время анализы изменений в суровых местных погодных явлениях (например: торнадо, грозовые дни и выпадение града) в нескольких избранных регионах не дают веских оснований считать, что происходят долгосрочные изменения. В целом тенденции в суровых погодных явлениях, как печально известно, трудно обнаружить, поскольку они характеризуются сравнительно редким возникновением и большой пространственной изменчивостью.

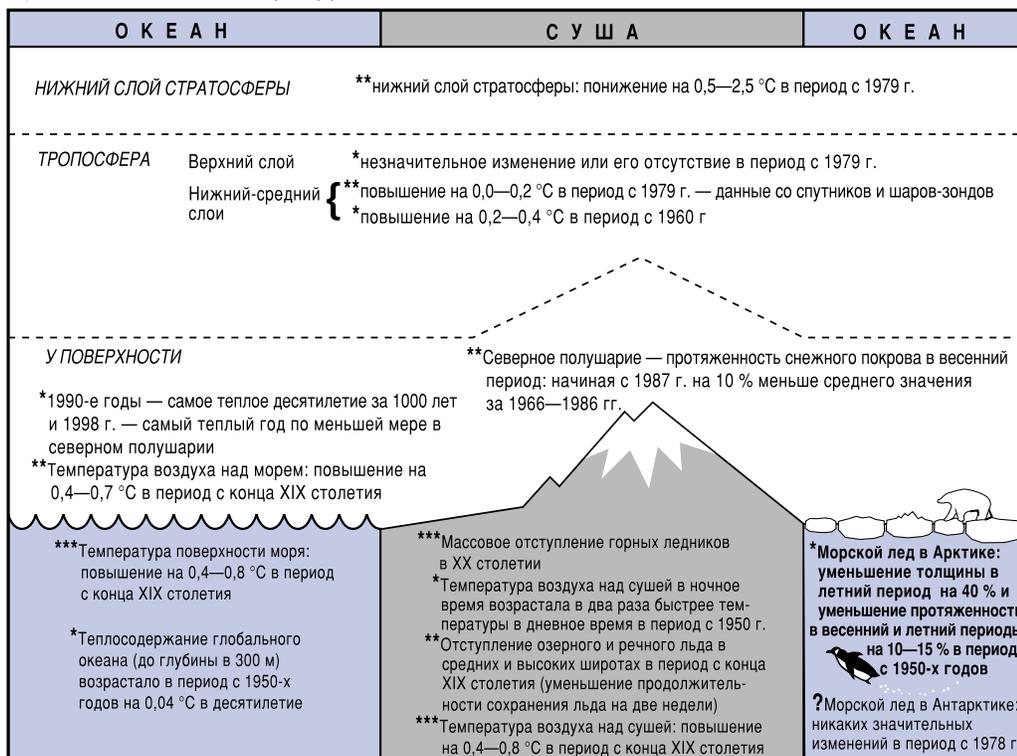
### **В.7 Обобщенная картина: потепление на земном шаре и другие изменения в климатической системе**

Как это обобщенно представлено выше, последовательность изменений климата в настоящее время хорошо задокументирована, особенно за периоды последних десятилетий—столетий, при наличии всевозрастающего комплекта данных прямых измерений. На рисунке TP-7 проиллюстрированы эти тренды в показателях температуры (рисунок TP-7a) и гидрологических и связанных со штормами показателях (рисунок TP-7b), а также представлены указания на степень достоверности конкретных изменений.

#### **Объединенные вместе эти тенденции иллюстрируют обобщенную картину потепления на земном шаре:**

- Данные измерений приземной температуры на суше и над океанами (с двумя отдельными оценками над последним) были получены и откорректированы независимо. Все комплекты данных свидетельствуют о весьма аналогичных, идущих вверх трендах в глобальном масштабе при наличии двух основных периодов потепления на земном шаре: 1910—1945 гг. и начиная с 1976 г. Возникает тенденция более быстрого повышения глобальной температуры приземного воздуха над сушей, чем глобальной температуры поверхности океана.
- Измерения, проводимые с помощью метеорологических шаров-зондов, показывают, что температуры в нижнем слое тропосферы начиная с 1958 г. возрастали, хотя и незначительно после 1979 г. С 1979 г. стали поступать спутниковые данные, которые свидетельствуют о наличии трендов, аналогичных тем, которые показывают данные с шаров-зондов.
- Уменьшение диапазона суточных температур на континентах совпадает с увеличениями количества облаков, атмосферных осадков и увеличениями в общем содержании водяного пара в атмосфере.
- Почти повсеместное уменьшение протяженности горных ледников и массы льда согласуется с повсеместным повышением приземной температуры. Несколько наблюдавшихся в последнее время исключений в

а) Показатели температуры



Вероятность: {  
 \*\*\*Практически достоверно (вероятность > 99 %)  
 \*\*Весьма вероятно (вероятно ≥ 90 %, но ≤ 99 %)  
 \*Вероятно (> 66 %, но < 90 %)  
 ?Средняя вероятность (вероятность > 33 %, но ≤ 66 %)

Рисунок TP-7а.

Схематическое представление наблюдаемых изменений показателей температуры. [Основано на рисунке 2.39а]

б) Гидрологические и связанные со штормами показатели



Вероятность: {  
 \*\*\*Практически достоверно (вероятность > 99 %)  
 \*\*Весьма вероятно (вероятно ≥ 90 %, но ≤ 99 %)  
 \*Вероятно (> 66 %, но < 90 %)  
 ?Средняя вероятность (вероятность > 33 %, но ≤ 66 %)

Рисунок TP-7б.

Схематическое представление наблюдаемых изменений гидрологических и связанных со штормами показателей. [Основано на рисунке 2.39б]

прибрежных регионах согласуются с колебаниями в атмосферной циркуляции и соответствующими увеличениями количества осадков.

- Уменьшение снежного покрова и уменьшение продолжительности сохранения льда на озерах и реках хорошо соотносятся с увеличением приземной температуры на суше в северном полушарии.
- Систематическое уменьшение протяженности и толщины морского льда в Арктике в весенний и летний периоды согласуется с повышением температуры над большинством территорий прилегающей суши и океана.
- Теплосодержание океана увеличилось, а глобальный средний уровень моря повысился.
- Увеличение общего количества водяного пара в тропосфере в последние 25 лет убедительно согласуется с повышением температур в тропосфере и более активным гидрологическим циклом, приводящих в результате к более экстремальным и интенсивным явлениям выпадения осадков во многих районах с увеличившимся количеством осадков, например в средних и высоких широтах северного полушария.

#### *Некоторые важные аспекты климата, как представляется, не претерпели изменений.*

- В некоторых районах земного шара потепления в последние десятилетия не происходило, в основном это некоторые части океанов в южном полушарии и части Антарктики.
- Никаких значительных трендов в протяженности морского льда в Антарктике в период проведения систематических измерений со спутников (с 1978 г.) выявлено не было.
- Судя по ограниченному количеству данных, никаких четких тенденций в наблюдающихся колебаниях интенсивности и частоты тропических и внетропических циклонов и суровых местных штормов во второй половине XX столетия не проявляется, хотя иногда заметны многодесятилетние колебания.

Изменения и тренды изученных показателей позволяют предположить практически достоверно, что в течение XX столетия существовала общая повышательная тенденция в глобальной приземной температуре, хотя и случались кратковременные и региональные отклонения от этой тенденции.

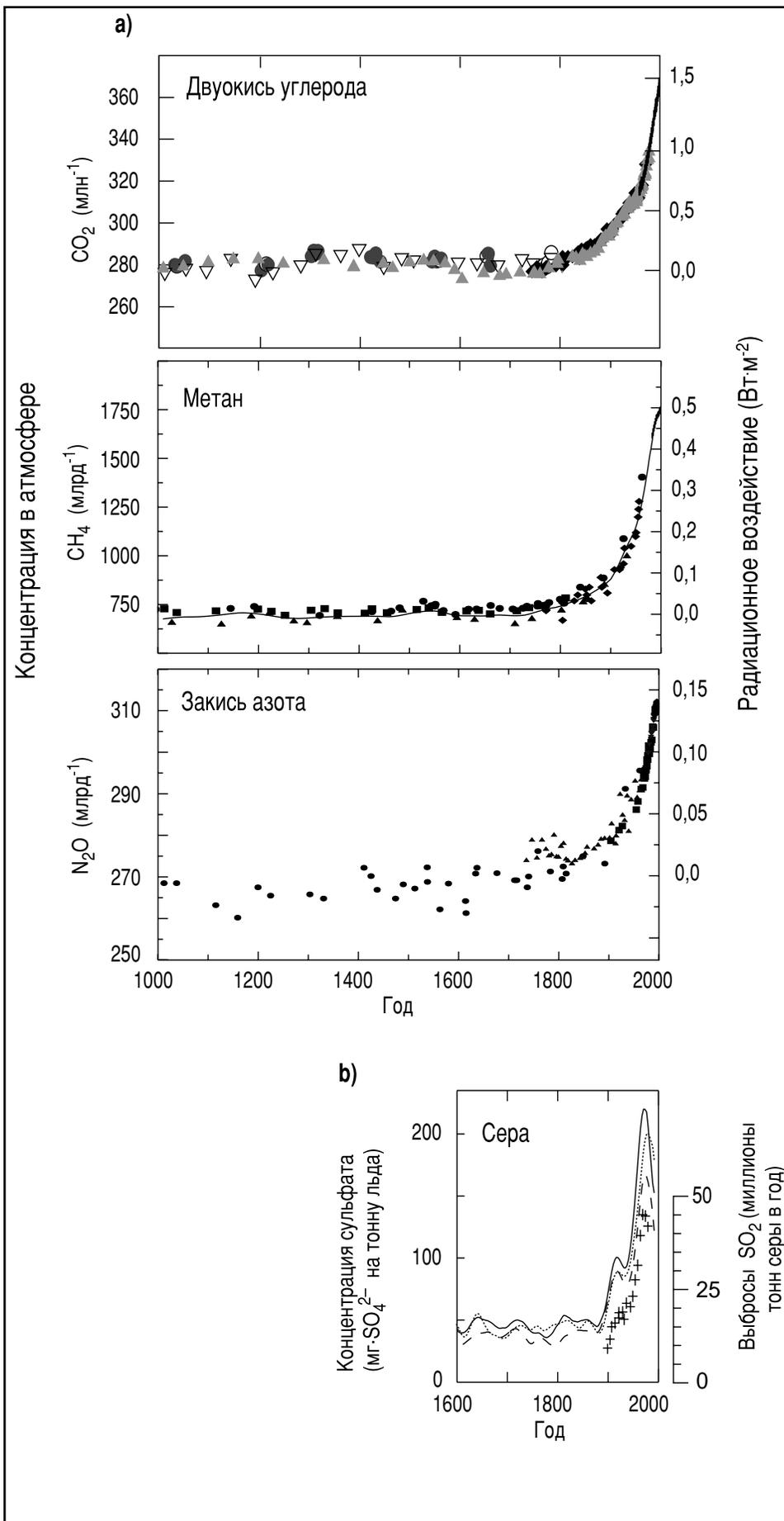
### **С. Воздействующие факторы, вызывающие изменение климата**

Данные наблюдений, в дополнение к происходившим в прошлом колебаниям и изменениям в климате Земли,

свидетельствуют также об изменениях, которые происходили в факторах, которые могут вызывать изменение климата. Наиболее значимыми среди этих факторов являются увеличение концентраций парниковых газов и аэрозолей (находящихся в воздухе микроскопических частиц и капель) в атмосфере и колебания солнечной активности, оба из которых могут изменить радиационный баланс Земли и, соответственно, климат. Эти зарегистрированные данные наблюдений о воздействующих на климат факторах являются частью вклада, необходимого для понимания изменений климата в прошлом, что отмечено в предыдущем разделе, и, что очень важно, для прогнозирования тех изменений, которые могут произойти в климате в будущем (см. раздел F).

Как и данные об изменениях климата в прошлом, комплекты данных о воздействующих факторах имеют различные продолжительность и качество. Прямые измерения солнечного излучения проводятся в течение лишь примерно двух десятилетий. Постоянный прямой мониторинг концентраций двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) в атмосфере был начат примерно в середине XX столетия, а в отношении других долго сохраняющихся, хорошо перемешанных газов, таких, как метан, лишь в последние годы. Палеоданные об атмосфере, полученные при исследовании кернов льда, свидетельствуют о том, что в более ранние тысячелетия концентрации некоторых парниковых газов изменялись. В противоположность этому, временные ряды данных измерений воздействующих веществ, для которых характерны сравнительно более короткие периоды сохранения в атмосфере (например аэрозоли), получены в более позднее время и являются гораздо менее полными, поскольку эти вещества труднее измерять и пространственно они неоднородны. Комплекты современных данных свидетельствуют о том, что в течение последней части прошедшего тысячелетия деятельность человека оказывала влияние на концентрации в атмосфере как долго сохраняющихся парниковых газов, так и на недолго существующих воздействующих веществ. На рисунке TP-8 проиллюстрированы последствия значительного увеличения в индустриальную эру антропогенных выбросов парниковых газов и двуокиси серы, причем последняя является предшественницей аэрозолей.

Изменение в энергии, имеющейся в глобальной системе «Земля-атмосфера», вследствие изменений в этих воздействующих факторах называется радиационным воздействием ( $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ ) климатической системы (см. текстовой блок TP-1). Определенное таким образом радиационное воздействие изменения климата представляет собой показатель относительных глобальных средних воздействий на систему «поверхность-тропосфера», вызванных различными естественными и антропогенными причинами. В настоящем разделе представлены обновленные знания о радиационном воздействии изменения климата, которое наблюдалось с доиндустриальной



**Рисунок TP-8.** Зарегистрированные данные об изменениях в составе атмосферы. а) Концентрации CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O в атмосфере в последние 1 000 лет. Данные, полученные при исследовании кернов льда и фирна, отобранных в нескольких точках Антарктики и Гренландии (показаны разными символами), дополнены данными, полученными при исследовании непосредственных образцов атмосферы в последние несколько десятилетий (показаны линией для CO<sub>2</sub> и включены в кривую, представляющую глобальную среднюю концентрацию CH<sub>4</sub>). Оценочное радиационное воздействие, связанное с этими газами, показано на шкале справа. б) Концентрация сульфата в кернах льда, отобранных в нескольких точках в Гренландии; при этом эпизодические последствия извержений вулканов удалены (линии), а также общие выбросы SO<sub>2</sub> из источников в США и в Европе.

[Основано на: (а) рисунке 3.2b (CO<sub>2</sub>), рисунках 4.1a и b (CH<sub>4</sub>) и рисунке 4.2 (N<sub>2</sub>O); и (б) рисунке 5.4a]

эры до настоящего времени. На рисунке TP-9 представлены оценочные значения радиационного воздействия в период с начала индустриальной эры (1750 г.) до 1999 г. с учетом количественно определяемых естественных и антропогенных воздействующих факторов. Хотя извержения вулканов в данный рисунок не включены вследствие их эпизодического характера, они являются источником еще одного важного естественного воздействия. В приведенных ниже подразделах представлена обобщенная информация о каждом из воздействующих факторов.

Воздействующие факторы, представленные на рисунке TP-9, в значительной степени различаются по своей форме, величине и пространственному распределению. Некоторые из парниковых газов выбрасываются непосредственно в атмосферу; другие же являются химическими продуктами выбросов других веществ. Некоторые парниковые газы сохраняются в атмосфере в течение продолжительных периодов времени и, в результате, хорошо перемешиваются по всей атмосфере. Другие существуют в атмосфере недолго и их региональные концентрации неоднородны. Большинство газов образуются как из естественных, так и из антропогенных источников. И наконец, как показано на рисунке TP-9, радиационное воздействие индивидуальных факторов может быть положительным (т. е. нагревать поверхность Земли) или отрицательным (т. е. охлаждать поверхность Земли).

### С.1 Наблюдаемые изменения в концентрациях полностью перемешанных в глобальном масштабе парниковых газов и в радиационном воздействии

В течение тысячи лет до начала индустриальной эры концентрации парниковых газов в атмосфере оставались сравнительно постоянными. Однако с тех пор концентрации многих парниковых газов возрастали прямо или косвенно под воздействием деятельности человека.

В таблице TP-1 представлены в качестве примеров несколько парниковых газов и в обобщенном виде отражены их концентрации в 1750 г. и в 1998 г., их изменение в течение 1990-х годов и продолжительность их сохранения в атмосфере. Вклад того или иного вида в радиационное воздействие на изменение климата зависит от молекулярных радиационных свойств конкретного газа, величины увеличения его концентрации в атмосфере и времени сохранения данного вида в атмосфере после его выброса. *Последний фактор — время сохранения парникового газа в атмосфере — является характеристикой, имеющей очень большое значение для политики, т. е. выбросы парникового газа, который долго сохраняется в атмосфере, являются квази-необратимым действием, вследствие которого устойчивое радиационное воздействие будет сохраняться в течение десятилетий, столетий или тысячелетий, прежде чем естественные процессы смогут устранить выброшенные в атмосферу количества конкретного парникового газа.*

### Двуокись углерода (CO<sub>2</sub>)

Концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере возросла с 280 млн<sup>-1</sup> в 1750 г. до 367 млн<sup>-1</sup> в 1999 г. (31 %, таблица TP-1). Никогда концентрация CO<sub>2</sub> не была столь высокой, как сегодня, в течение последних 420 000 лет и, вероятно, в течение последних 20 млн лет. Темпы возрастания концентрации в последние столетия являются беспрецедентными, по меньшей мере за последние 20 000 лет (рисунок TP-10). Изотопный состав CO<sub>2</sub> и наблюдаемое уменьшение кислорода (O<sub>2</sub>) показывают, что наблюдаемое увеличение концентрации CO<sub>2</sub> объясняется главным образом окислением органического углерода в процессе сжигания ископаемых видов топлива, а также уничтожением лесов. Все более расширяющийся комплект палеоданных об атмосфере, полученных при изучении находящихся в льде пузырьков воздуха, за период в сотни тысяч лет обеспечивает основу для вывода о повышении концентраций CO<sub>2</sub> в индустриальную эру (рисунок TP-10). Повышение концентраций CO<sub>2</sub> в индустриальную эру по сравнению с относительно стабильными концентрациями CO<sub>2</sub> (280 + 10 млн<sup>-1</sup>) в предшествующие несколько тысяч лет, является очень заметным. Средние темпы увеличения в период с 1980 г. составили 0,4 %/год. Это увеличение является следствием выбросов CO<sub>2</sub>. Большая часть выбросов в последние 20 лет связана с сжиганием ископаемых видов топлива, а остальная часть (10—30 %) объясняется изменениями в землепользовании, особенно уничтожением лесов. Как показано на рисунке TP-9, CO<sub>2</sub> является основным парниковым газом, возникающим в результате деятельности человека, с радиационным воздействием в настоящее время в 1,46 Вт·м<sup>-2</sup>, что составляет 60 % от общей величины изменений в концентрациях всех долго сохраняющихся и перемешанных в глобальном масштабе парниковых газов.

*Данные прямых измерений концентраций CO<sub>2</sub> в атмосфере, полученные за последние 40 лет, показывают, что колебания темпов повышения концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере по годам являются весьма значительными. В 1990-х годах ежегодные темпы увеличения концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере варьировались от 0,9 до 2,8 млн<sup>-1</sup>/год, что эквивалентно 1,9—6,0 млн<sup>-1</sup>/год. Такие годовые изменения могут быть отнесены статистически к краткосрочной изменчивости климата, которая влияет на скорость поглощения CO<sub>2</sub> из атмосферы и ее высвобождения обратно в атмосферу океанами и сушей. Наивысшие темпы повышения концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере приходились обычно на годы активного проявления явления Эль-Ниньо (текстовый блок TP-4). Эти более высокие темпы увеличения концентрации можно достоверно объяснить уменьшением поглощения CO<sub>2</sub> сушей (или дегазированием суши) в годы Эль-Ниньо, превышающим тенденцию океана поглощать CO<sub>2</sub> в большем количестве, чем обычно.*

<sup>5</sup> Концентрации малых газовых составляющих атмосферы приведены здесь в виде молярной доли (молярное отношение концентраций компонентов смеси) газа по отношению к сухому воздуху (млн<sup>-1</sup> = 10<sup>-6</sup>, млрд<sup>-1</sup> = 10<sup>-9</sup>, трлн<sup>-1</sup> = 10<sup>-12</sup>). Атмосферная нагрузка указана здесь как общая масса газа (например, Mt = Tg = 1012 г). Глобальный круговорот углерода выражен в PgC = ГтУ.

**Таблица ТР-1.** Примеры концентраций парниковых газов, на которые оказывает влияние деятельность человека.  
[Основано на главе 3, таблица 4.1]

	CO <sub>2</sub> (двуокись углерода)	CH <sub>4</sub> (метан)	N <sub>2</sub> O (закись азота)	ХФУ-11 (хлорфтор-углерод-11)	ГФУ-23 (гидрофтор-углерод-23)	CF <sub>4</sub> (перфтор-метан)
Концентрация в доиндустриальную эру	примерно 280 млн <sup>-1</sup>	примерно 700 млрд <sup>-1</sup>	примерно 270 млрд <sup>-1</sup>	ноль	ноль	40 трлн <sup>-1</sup>
Концентрация в 1998 г.	365млн <sup>-1</sup>	1745 млрд <sup>-1</sup>	314 млрд <sup>-1</sup>	268 трлн <sup>-1</sup>	14 трлн <sup>-1</sup>	80 трлн <sup>-1</sup>
Темпы изменения концентрации <sup>b</sup>	1,5 млн <sup>-1</sup> /год <sup>a</sup>	7,0 млрд <sup>-1</sup> /год <sup>a</sup>	0,8 млрд <sup>-1</sup> /год	-1,4 трлн <sup>-1</sup> /год	0,55 трлн <sup>-1</sup> /год	1 трлн <sup>-1</sup> /год
Время сохранения в атмосфере	5-200 лет <sup>c</sup>	12 лет <sup>d</sup>	114 лет <sup>d</sup>	45 лет	260 лет	>50 000 лет

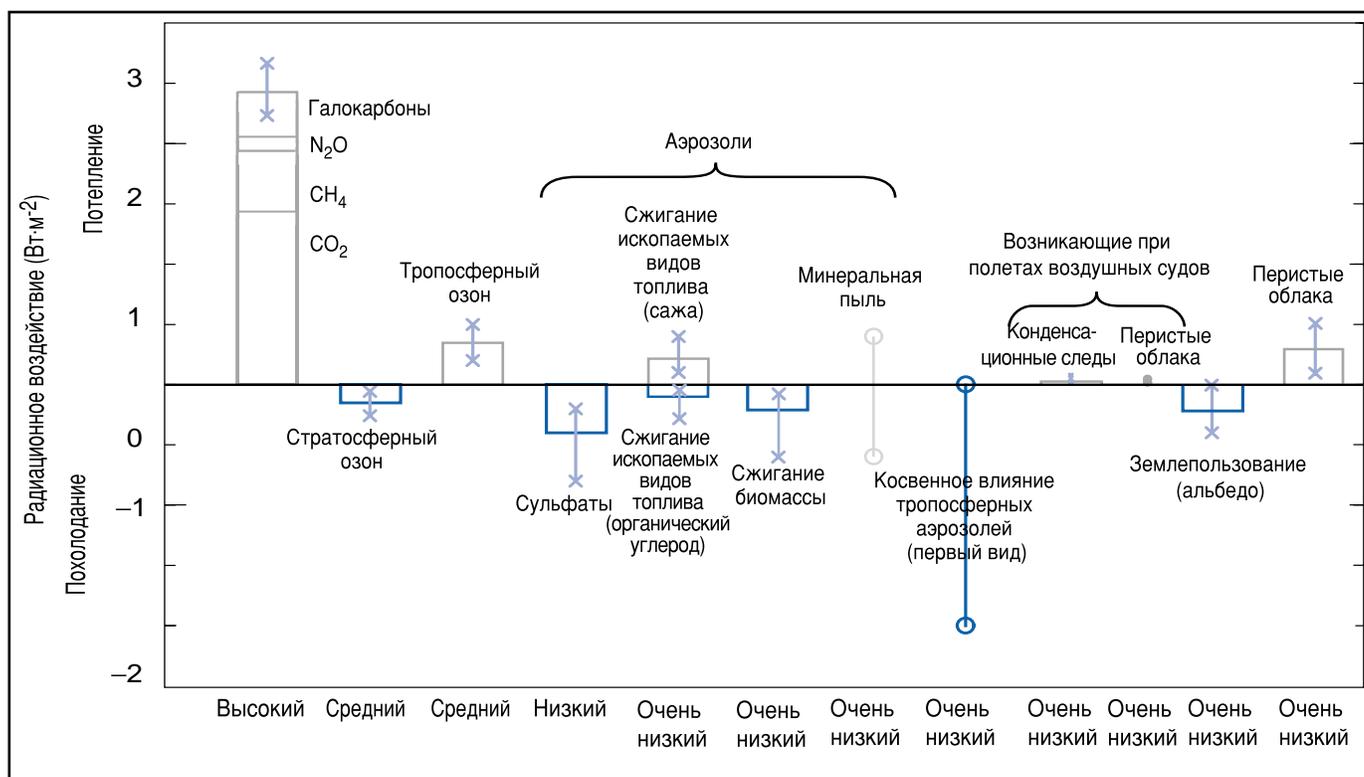
<sup>a</sup> Темпы колебались в период 1990—1999 гг. между 0,9 млн<sup>-1</sup>/год и 2,8 млрд<sup>-1</sup>/год для CO<sub>2</sub> и между 0 и 13 млрд<sup>-1</sup>/год для CH<sub>4</sub>.  
<sup>b</sup> Темпы рассчитаны за период 1990—1999 гг.  
<sup>c</sup> Никакого единого срока сохранения в атмосфере для CO<sub>2</sub> определено быть не может, поскольку при различных процессах его устранения его поглощение идет разными темпами.  
<sup>d</sup> Этот срок сохранения в атмосфере был определен как «время адаптации», в котором учитывается косвенное влияние конкретного газа на время своего собственного существования в атмосфере.

По данным наблюдения за атмосферой теперь можно рассчитать за последние два десятилетия те части концентраций CO<sub>2</sub>, которые возрастали в атмосфере и поглощались суши и океаном. В таблице ТР-2 представлен глобальный баланс CO<sub>2</sub> за 1980-е годы (который близок к балансу, рассчитанному с помощью модели океанов и представленному в ВДО), а также за 1990-е годы. При расчетах этих двух балансов использовались данные измерений уменьшения содержания кислорода (O<sub>2</sub>) в атмосфере и повышения концентраций CO<sub>2</sub>. Результаты расчетов по такому методу согласуются с результатами других анализов, основанных на изотопном составе CO<sub>2</sub> в атмосфере, а также с независимыми оценками, основанными на данных измерений содержания CO<sub>2</sub> и <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> в морской воде. Баланс за 1990-е годы основан на только что появившихся результатах измерений и является обновленным вариантом баланса за период 1989—1998 гг., рассчитанного с использованием методологии ВДО для Специального доклада МГЭИК о землепользовании, изменении землепользования и лесном хозяйстве (2000 г.). Биосфера суши в целом пополнялась углеродом в течение 1980-х и 1990-х годов; т.е. количество CO<sub>2</sub>, высвобожденное в результате изменения в землепользовании (главным образом за счет сведения тропических лесов), более чем компенсировалось количеством, поглощенным другими земными поглотителями, которые, вероятно, находятся во внетропической и тропической зонах в северном полушарии. В том, что касается оценок высвобождения CO<sub>2</sub> в связи с изменением землепользования (и, соответственно, с величиной поглощения его суши), для них все еще характерны значительные неопределенности.

Модели, основанные на учете процессов (модели поведения углерода на суше и в океане), позволили получить предварительные количественные определения механизмов глобального круговорота углерода. Результаты работы с моделью суши показывают, что более активный рост растений из-за более высокого содержания CO<sub>2</sub> (удобрение CO<sub>2</sub>) и осаждение антропогенного азота в значительной степени способствуют поглощению CO<sub>2</sub>, т. е. они в потенциале «ответственны» за описанное выше остаточное земное поглощение, наряду с другими предполагаемыми механизмами, такими, как изменения в практике землепользования. Рассчитанное с помощью моделей влияние изменения климата на земной поглотитель в течение 1980-х годов является незначительным, а его знак неопределенным.

#### Метан (CH<sub>4</sub>)

Концентрации метана (CH<sub>4</sub>) в атмосфере возросли в период с 1750 г. примерно на 150 % (1,060 млрд<sup>-1</sup>). Современная концентрация CH<sub>4</sub> является самой высокой за последние 420 000 лет. Метан (CH<sub>4</sub>) — это парниковый газ, высвобождаемый как из естественных (например заболоченные земли), так и антропогенных источников (например, сельское хозяйство, виды деятельности, связанной с природным газом и мусорные свалки). Несколько более половины современных выбросов CH<sub>4</sub> имеют антропогенный характер. Метан удаляется из атмосферы в результате химических реакций. Как показано на рисунке ТР-11, систематические, представительные на глобальном уровне измерения концентрации CH<sub>4</sub> в атмосфере проводятся с 1983 г., а данные о концентрациях в атмосфере в более ранние периоды были получены по результатам исследований воздуха,



**Рисунок ТР-9.** Глобальное среднегодовое радиационное воздействие ( $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ ), возникающее вследствие ряда факторов, в период с доиндустриальной эпохи (1750 г.) до настоящего времени (конец 1990-х годов — примерно 2000 г.) (численные значения представлены также в таблице 6.11 главы 6). Подробные объяснения см. в главе 6.13. Высота прямоугольных столбиков отражает центральное или наилучшее оценочное значение, в то время как его отсутствие означает, что никакая лучшая оценка невозможна. Вертикальная линия при прямоугольном столбике, ограниченная символами «x», обозначает оценочную величину диапазона неопределенности, который по большей части определяется разбросом в опубликованных значениях конкретного воздействия. Вертикальная линия вне прямоугольного столбика, ограниченная символами «o», означает воздействие, для которого никакой центральной оценки не может быть дано из-за наличия больших неопределенностей. Указанный здесь диапазон неопределенности не имеет никакой статистической основы и поэтому отличается от соответствующего понятия, используемого в других местах настоящего документа. Показатель «уровня научного понимания» присвоен каждому воздействию фактору с указанием соответственно высокого, среднего, низкого и очень низкого уровней. Это представляет собой субъективное суждение о надежности оценки конкретного воздействия с учетом таких факторов, как допущения, необходимые для оценки воздействия, уровень знаний о физических/химических механизмах, определяющих конкретное воздействие, и неопределенности, связанные с количественной оценкой конкретного воздействия (см. таблицу 6.12). Хорошо перемешанные парниковые газы сгруппированы вместе в одном прямоугольном столбике с указанием индивидуальных средних вкладов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и галоидуглеводородов (см. таблицы 6.1 и 6.11). Сжигание ископаемых видов топлива подразделено на компоненты «сажа» и «органический углерод» с отдельными наилучшими оценками и диапазонами. Знак воздействия, связанных с минеральной пылью, является сам по себе неопределенностью. Косвенное воздействие, вызываемое находящимися в тропосфере аэрозолями, пока плохо понято. То же самое можно сказать о воздействии, возникающем вследствие полетов самолетов и связанных с ними инверсионных следов и перистых облаков. Здесь рассматривается только «первый» тип косвенного влияния аэрозолей, т. е. это применимо в контексте жидких облаков. «Второй» тип влияния является концептуально важным, однако в этом случае доверие к полученным с помощью моделей количественным оценкам очень мало. Воздействие, связанное с возникающими в результате извержений вулканов аэрозолями в стратосфере, сильно варьируется в рассматриваемый период и поэтому не показано на данной схеме (тем не менее, см. рисунок 6.8). Все показанные на схеме воздействующие факторы обладают различными пространственными и сезонными свойствами (рисунок 6.7), так что глобальные годовые средние значения, представленные на данной схеме, не дают в результате полной картины радиационной пертурбации. Они предназначены только для того, чтобы представить в относительном смысле перспективу первого порядка в глобальном среднегодовом масштабе и не могут быть использованы для определения реакции климата на общие естественные и/или антропогенные воздействующие факторы. Как и в ВДО, здесь подчеркивается, что положительные и отрицательные глобальные средние воздействия не могут быть просто сложены и рассматриваться заранее как обеспечивающие баланс в смысле полного глобального влияния на климат. [Основано на рисунке 6.6]

извлеченного из кернов льда и слоев фирна. Современное прямое радиационное воздействие в  $0,48 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  от  $\text{CH}_4$  составляет 20 % от общего значения радиационного воздействия всех долго сохраняющихся и смешанных в глобальном масштабе парниковых газов (см. рисунок ТР-9).

Содержание  $\text{CH}_4$  в атмосфере продолжает возрастать с приблизительно  $1\,610 \text{ млрд}^{-1}$  в 1983 г. до  $1\,745 \text{ млрд}^{-1}$  в 1998 г., однако по данным наблюдений, ежегодное увеличение за этот период уменьшалось. Увеличение содержания в 1990-х годах было очень изменчивым; в 1992 г. оно было близким к нулю, а в 1998 г.

составило  $13 \text{ млрд}^{-1}$ . Никакого четкого объяснения в количественных показателях для этой изменчивости не найдено. Со времени выхода ВДО было усовершенствовано выражение в количественных показателях некоторых антропогенных источников  $\text{CH}_4$ , таких например, как производство риса.

Темпы возрастания содержания  $\text{CH}_4$  в атмосфере объясняются некоторой несбалансированностью между недостаточно хорошо охарактеризованными источниками и поглотителями, что делает прогноз будущих концентраций проблематичным. Хотя основные вклады в глобальный баланс  $\text{CH}_4$ ,

**Таблица ТР-2.** Глобальные балансы  $\text{CO}_2$  (в PgC/год), основанные на данных измерений содержания  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в атмосфере. Положительные величины — это потоки в атмосферу; отрицательные величины представляют поглощение из атмосферы. [Основано на таблицах 3.1 и 3.3]

	ВДО <sup>a,b</sup>	Настоящий доклад <sup>a</sup>	
	1980—1989 гг.	1980—1989 гг.	1990—1999 гг.
Увеличение в атмосфере	3,3 ± 0,1	3,3 ± 0,1	3,2 ± 0,1
Выбросы (сжигание ископаемых видов топлива, цемент) <sup>c</sup>	5,5 ± 0,3	5,4 ± 0,3	6,3 ± 0,4
Поток «океан-атмосфера»	- 2,0 ± 0,5	- 1,9 ± 0,6	- 1,7 ± 0,5
Поток «суша-атмосфера» <sup>d</sup>	- 0,2 ± 0,6	- 0,2 ± 0,7	- 1,4 ± 0,7

<sup>a</sup> Следует иметь в виду, что указанные в данной таблице неопределенности составляют ± 1 среднеквадратической ошибки. Неопределенности, указанные в ВДО, составляли ± 1,6 среднеквадратической ошибки (т.е. доверительный интервал приблизительно в 90 %). Значения неопределенности, взятые из ВДО, были откорректированы до ± 1 среднеквадратической ошибки. Столбики ошибок означают неопределенность, а не межгодовую изменчивость, которая значительно больше.

<sup>b</sup> В прежних балансах углерода МГЭИК на основе моделей рассчитывалось поглощение океаном, а поток «суша-атмосфера» определялся затем путем вычитания.

<sup>c</sup> Составляющая выбросов от сжигания ископаемых видов топлива за 1980-е годы пересмотрена с небольшим понижением уровня за период со времени выхода ВДО.

<sup>d</sup> Поток «суша-атмосфера» представляет собой баланс положительного терма в результате изменения землепользования и остаточного земного поглощения. Эти два терма разделить невозможно лишь на основе современных данных атмосферных измерений. Используя результаты независимых анализов для оценки компонента изменения землепользования за период 1980—1989 гг. можно подсчитать следующее остаточное земное поглощение: изменение землепользования — 1,7 PgC/год (0,6—2,5); остаточное земное поглощение — 1,9 PgC/год (-3,8—0,3). Данных для сравнения за 1990-е годы пока не имеется.

вероятно, уже определены, большинство из них остаются весьма неопределенными в количественном выражении ввиду трудностей в определении темпов выбросов из весьма разнообразных биосферных источников. Ограничения, связанные с недостаточно хорошей характеристикой и количественным определением активности источников  $\text{CH}_4$ , препятствуют прогнозированию концентраций  $\text{CH}_4$  в атмосфере в будущем (и, соответственно, его вклада в радиационное воздействие) для любого заданного сценария антропогенных выбросов, особенно в связи с тем, что как на природные выбросы, так и на удаление  $\text{CH}_4$  может оказать значительное влияние изменение климата.

### Закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ )

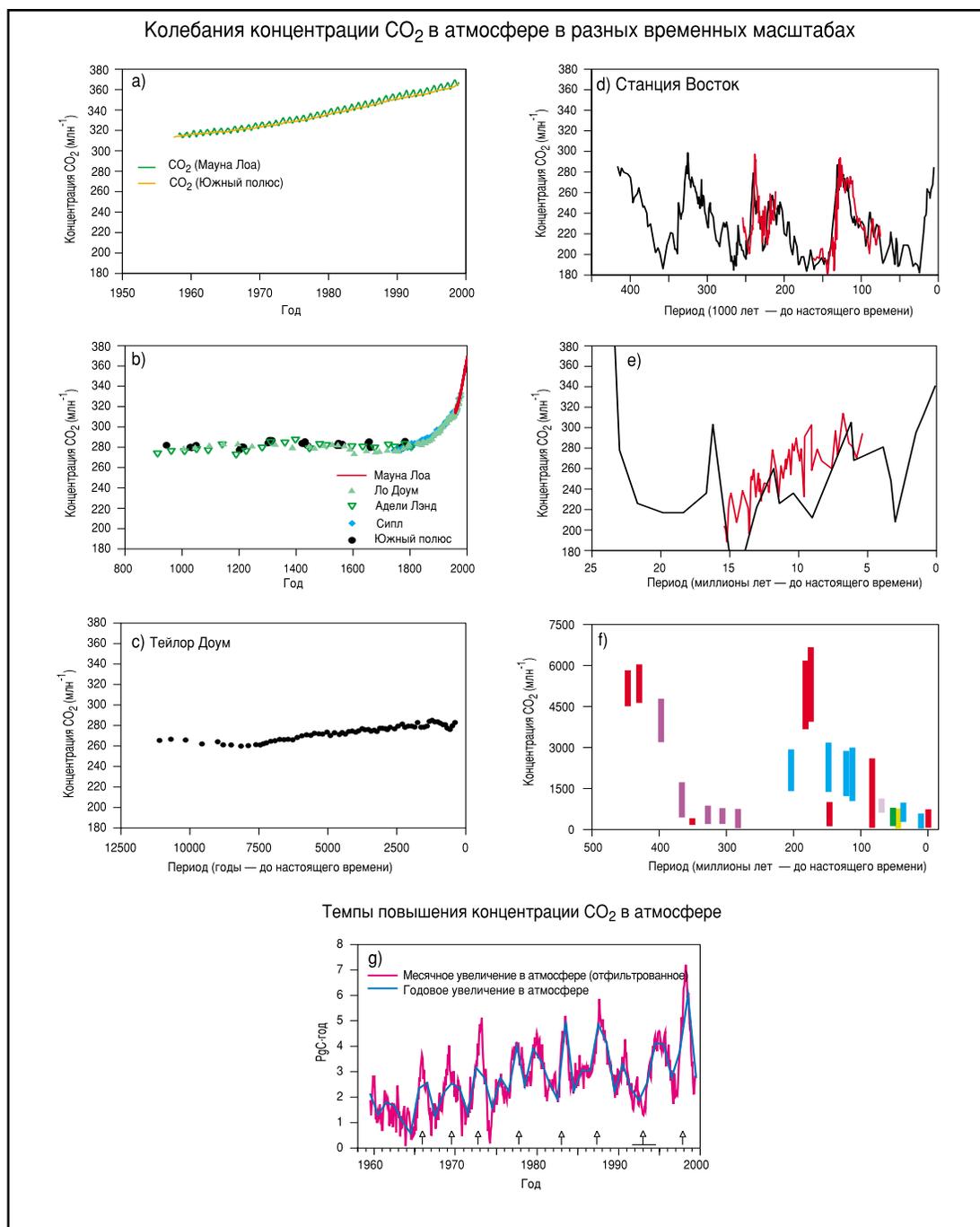
Концентрация закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) в атмосфере постоянно возрастала в индустриальную эру и сегодня она на 16 % (46 млрд<sup>-1</sup>) больше, чем в 1750 г. Сегодняшняя концентрация  $\text{N}_2\text{O}$  самая высокая за последние, как минимум, 1000 лет. Закись азота — это еще один парниковый газ, высвобождающийся как из природных, так и из антропогенных источников, и исчезающий из атмосферы в результате химических реакций. Концентрации  $\text{N}_2\text{O}$  в атмосфере продолжают возрастать со скоростью 0,25 %/год (1980—1998 гг.). В этой повышательной тенденции концентраций  $\text{N}_2\text{O}$  наблюдаются значительные межгодовые колебания, например, в темпах ежегодного увеличения в период с 1991 г. по 1993 г. наблюдалось снижение на 50 %. Предполагаемые причины этого весьма разнообразны: уменьшение использования азотных удобрений, уменьшение биогенных выбросов и более значительные потери в стратосфере вследствие изменений в циркуляции под влиянием извержений вулканов. С 1993 г. увеличение концентраций  $\text{N}_2\text{O}$  в атмосфере возвратилось к темпам, более близким к тем, которые наблюдались в 1980-х годах.

Хотя эти наблюдаемые многолетние колебания позволили получить некоторое потенциальное представление о тех процессах, которые управляют поведением  $\text{N}_2\text{O}$  в атмосфере, многолетние тренды поведения этого парникового газа остаются в значительной степени необъясненными.

Глобальный баланс содержания закись азота получил лучшее представление, чем в ВДО, однако неопределенности в значениях выбросов из отдельных источников все еще остаются довольно большими. Из естественных источников  $\text{N}_2\text{O}$ , по оценкам, высвобождается приблизительно 10 TgN/год (1990 г.), причем на долю почв приходится примерно 65 %, а на долю океанов — примерно 30 %. Новые, более точные оценки выбросов из антропогенных источников (сельское хозяйство, сжигание биомассы, промышленная деятельность, выращивание крупного рогатого скота), свидетельствующее о высвобождении примерно 7 TgN/год, позволили получить более сбалансированные оценки источников/поглотителей по сравнению с ВДО. Тем не менее, с момента проведения последней оценки необходимое для прогнозирования понимание поведения этого значимого, долго сохраняющегося в атмосфере парникового газа улучшилось ненамного. Радиационное воздействие оценивается в 0,15 Вт·м<sup>-2</sup>, что составляет 6 % от общей величины радиационного воздействия от всех долго сохраняющихся и перемешанных в глобальном масштабе парниковых газов (см. рисунок ТР-9).

### Галоидуглероды и родственные соединения

Концентрации в атмосфере многих из таких газов, которые являются одновременно озоноразрушающими и парниковыми газами, либо уменьшаются ( $\text{ХФУ-11}$ ,  $\text{ХФУ-113}$ ,  $\text{CH}_3\text{CCl}_3$  и  $\text{CCl}_4$ ), либо увеличиваются более медленными темпами ( $\text{ХФУ-12}$ ) в

**Рисунок TP-10.**

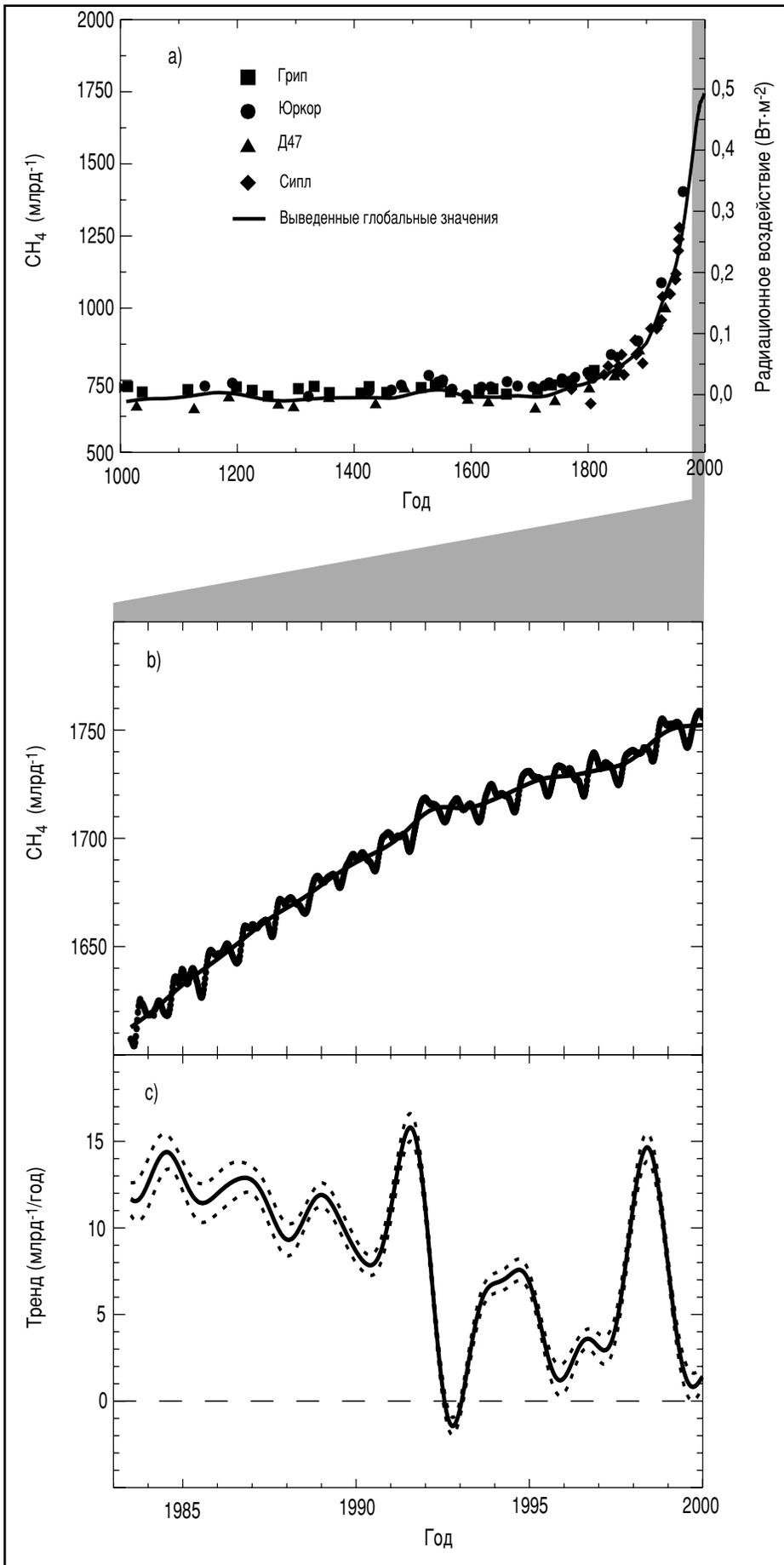
Колебания концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере в разных временных масштабах. а) Данные прямых измерений CO<sub>2</sub> в атмосфере. б) Концентрация CO<sub>2</sub> в кернах антарктического льда за последнее тысячелетие. Для сравнения показаны недавние атмосферные измерения (Мауна Лоа). в) Концентрация CO<sub>2</sub> в керне антарктического льда из Тейлор Доум. (d) Концентрация CO<sub>2</sub> в керне антарктического льда со станции Восток. (Результаты различных исследований представлены разным цветом.) е—f) Данные о концентрациях CO<sub>2</sub>, полученные геохимическим путем. (Цветные столбики и линии представляют результаты различных опубликованных исследований.) g) Ежегодное увеличение концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере. Ежемесячные увеличения в атмосфере были отфильтрованы для устранения сезонного цикла. Вертикальные стрелки обозначают явление Эль-Ниньо. Горизонтальная черточка означает продолжительное явление Эль-Ниньо 1991—1994 гг.

[Основано на рисунках 3.2 и 3.3]

ответ на сокращение выбросов согласно предписаниям Монреальского протокола и приложений к нему. Многие из этих галоидоуглеродов являются также радиационно активными, долго сохраняющимися в атмосфере парниковыми газами. Галоидоуглероды — это углеродные соединения, содержащие фтор, хлор, бром или йод. Единственным источником выбросов большинства этих соединений является деятельность человека. Галоидоуглероды, содержащие хлор (например хлорфторуглероды — ХФУ) и бром (например галоны), вызывают истощение озонового слоя в стратосфере и контролируются согласно Монреальскому протоколу. Общее содержание озоноразрушающих газов в тропосфере достигло своего пика в 1994 г. и теперь постепенно уменьшается. Содержание в

атмосфере некоторых основных парниковых галоидоуглеродов достигло своего пика, как это показано для ХФУ-11 на рисунке TP-12. Концентрации ХФУ и хлоруглеродов в тропосфере согласуются с зарегистрированными выбросами. Галоидоуглероды вносят в радиационное воздействие вклад в  $0,34 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ , что составляет 14 % от радиационного воздействия всех глобально перемешанных парниковых газов (рисунок TP-9.).

По данным наблюдений, концентрации в атмосфере веществ, замещающих ХФУ, возрастают и некоторые из этих соединений являются парниковыми газами. Содержание гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) и гидрофторуглеродов (ГФУ) возрастает как результат продолжения



**Рисунок TP-11.** а) Изменение в содержании CH<sub>4</sub> (молярная доля, в млрд<sup>-1</sup> = 10<sup>-9</sup>), определенная по кернам льда, фирну и образцам воздуха, за последние 1 000 лет. Радиационное воздействие, аппроксимированное по линейной шкале за период с доиндустриальной эры, нанесено на правой оси. б) Глобальное усредненное содержание CH<sub>4</sub> (с изменениями по месяцам) и содержание CH<sub>4</sub> с устранением сезонного фактора (сглаженная линия) за период с 1983 г. по 1999 г. в) Темпы ежегодного увеличения (млрд<sup>-1</sup>/год) содержания CH<sub>4</sub> в глобальной атмосфере за период с 1983 г. по 1999 г. (включительно), рассчитанные как производная от представленной выше кривой тренда с устранением сезонного фактора. Неопределенности (пунктирные линии) составляют ± 1 среднеквадратическое отклонение.

[Основано на рисунке 4.1]

более ранних видов использования, а также их использования в качестве веществ, замещающих ХФУ. Например, концентрация ГФУ-23 в период с 1978 г. по 1995 г. возросла более чем в три раза. Поскольку современные концентрации сравнительно низки, сегодняшний вклад ГФУ в радиационное воздействие является относительно небольшим. Сегодняшний вклад ГХФУ в радиационное воздействие также сравнительно небольшой, а будущие выбросы этих газов ограничиваются Монреальским протоколом.

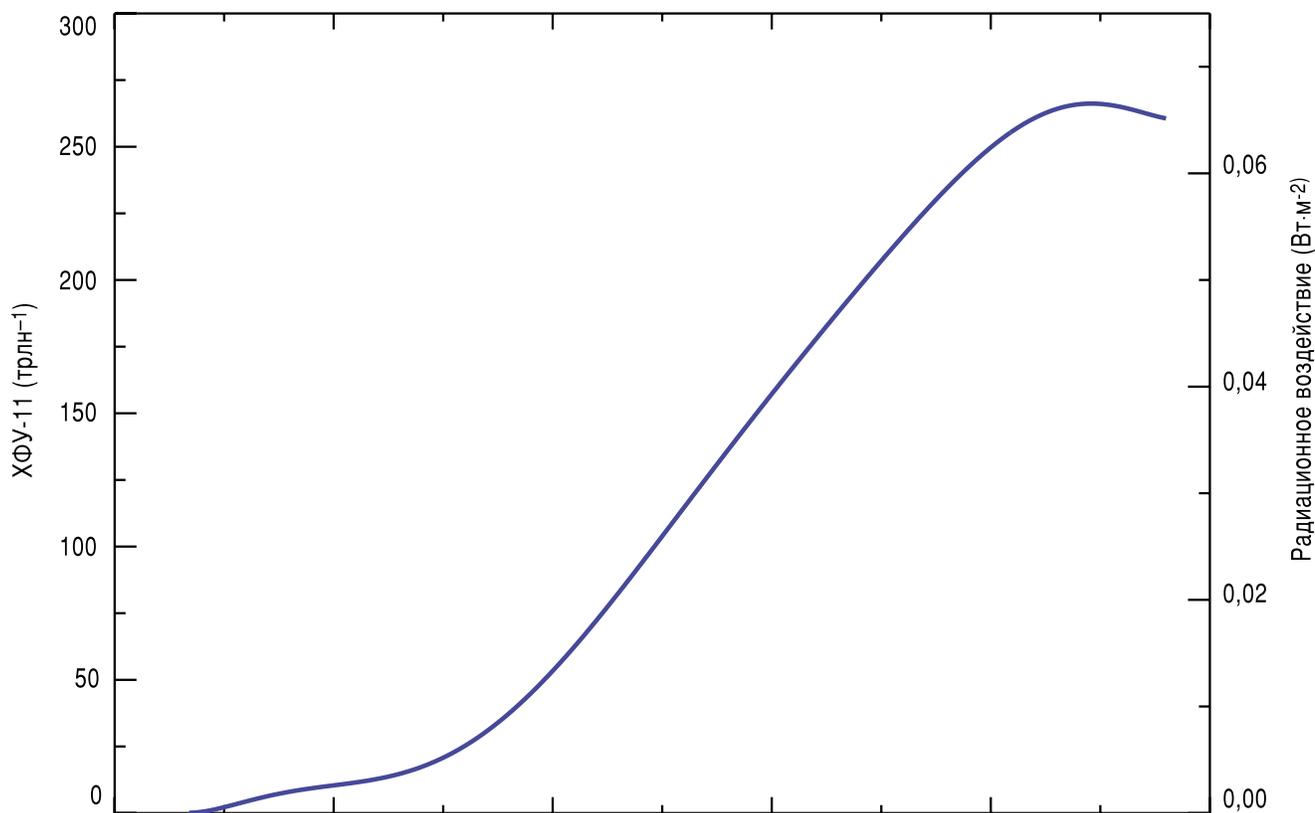
*Перфторуглероды (ПФУ, например  $CF_4$  и  $C_2F_6$ ) и гексафторид серы ( $SF_6$ ) высвобождаются из антропогенных источников, чрезвычайно долго сохраняются в атмосфере и являются активными поглотителями инфракрасного излучения. Поэтому эти соединения, даже при относительно небольших выбросах, обладают потенциальной возможностью влиять на климат в течение продолжительного времени в будущем. Перфторметан ( $CF_4$ ) сохраняется в атмосфере как минимум 50 000 лет. Он высвобождается из природных источников; однако современные антропогенные выбросы превышают естественные выбросы этого газа в 1000 или более раз и именно из-за них происходит наблюдаемое увеличение его концентрации. Гексафторид серы ( $SF_6$ ) является в 22 200 раз более эффективным парниковым газом, чем  $CO_2$ , в расчете на килограмм. Современные концентрации в атмосфере очень малы ( $4,2 \text{ трлн}^{-1}$ ), однако у них*

значительные темпы роста ( $0,24 \text{ трлн}^{-1}/\text{год}$ ). На основе пересмотренных данных о продажах и хранении можно сделать вывод, что наблюдаемые темпы роста концентрации  $SF_6$  в атмосфере хорошо согласуются с соответствующими выбросами.

## С.2 Наблюдаемые изменения в других радиационно значимых газах

### Атмосферный озон ( $O_3$ )

Озон ( $O_3$ ) является важным парниковым газом, присутствующим как в стратосфере, так и в тропосфере. Роль озона в радиационном балансе атмосферы сильно зависит от той высоты, на которой происходят изменения в концентрациях озона. Изменения в концентрациях озона варьируются также и в пространственном распределении. Далее, озон не является газом, непосредственно выбрасываемым в атмосферу, а образуется в самой атмосфере в результате фотохимических процессов, в которых участвуют как естественные, так и антропогенные вещества — его предшественники. После своего образования в атмосфере озон сохраняется в ней сравнительно недолго, в течение промежутков времени от нескольких недель до нескольких месяцев. Вследствие этого оценка радиационной роли озона является более сложной и гораздо менее определенной, чем для названных выше долго сохраняющихся и перемешанных в глобальном масштабе парниковых газов.



**Рисунок ТР-12.** Глобальное среднее содержание (ППТ) ХФУ-11 ( $CFCl_3$ ) в атмосфере в период с 1950 г. по 1998 г., рассчитанное на основе сглаженных данных измерений и результатов моделей выбросов. Радиационное воздействие ХФУ-11 показано на оси справа. [Основано на рисунке 4.6]

Наблюдавшееся истощение озонового слоя в стратосфере в течение двух последних десятилетий привело к отрицательному воздействию в  $0,15 \pm 0,1 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  (т. е. возникла тенденция к охлаждению) в системе «поверхность-тропосфера». В дополнительном докладе к научной оценке МГЭИК под названием «Изменение климата, 1992 г.» сообщалось, что истощение озонового слоя под влиянием антропогенных галоидуглеродов ведет к отрицательному радиационному воздействию. Оценочные значения, показанные на рисунке ТР-9, несколько больше по величине, чем значения, приведенные в ВДО, что связано с продолжавшимся истощением озонового слоя в течение последних пяти лет, и являются более определенными, поскольку были получены результаты моделирования в рамках более значительного ряда исследований. Исследования с использованием моделей общей циркуляции показывают, что несмотря на неоднородность истощения озона (например в нижнем слое стратосферы в высоких широтах) такое отрицательное воздействие соотносится с уменьшением приземной температуры пропорционально величине отрицательного воздействия. Таким образом, это отрицательное воздействие в течение двух последних десятилетий сбалансировало некоторую часть положительного воздействия, которое возникало под влиянием долго сохраняющихся и полностью перемешанных в глобальном масштабе парниковых газов (рисунок ТР-9). Основным источником неопределенности при оценке отрицательного воздействия являются неполные знания об истощении озона около тропопаузы. Расчеты с помощью моделей показывают, что увеличение проникновения ультрафиолетового излучения в тропосферу в результате истощения озонового слоя в стратосфере ведет к увеличению темпов удаления таких газов, как  $\text{CH}_4$ , из атмосферы, усиливая тем самым отрицательное воздействие, связанное с истощением озона. Если озоновый слой в будущих десятилетиях восстановится благодаря действию Монреальского протокола относительно современного уровня, будущее радиационное воздействие, связанное со стратосферным озоном, станет, согласно прогнозам, положительным.

Глобальное среднее радиационное воздействие, связанное с увеличением тропосферного озона в период после доиндустриальной эры, увеличило, согласно оценкам, воздействие, связанное с антропогенными парниковыми газами, на  $0,35 \pm 0,2 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ . Это означает, что тропосферный озон является третьим наиболее значимым парниковым газом после  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Озон образуется в результате фотохимических реакций, и его будущие изменения будут определяться, среди прочего, выбросами  $\text{CH}_4$  и загрязняющих веществ (как отмечено ниже). Концентрации озона реагируют сравнительно быстро на изменения в выбросах загрязняющих веществ. На основе ограниченных данных наблюдений и результатов моделирования в рамках нескольких исследований сделан оценочный вывод о том, что содержание тропосферного озона увеличилось в период после доиндустриальной эры примерно на 35 %, причем в некоторых регионах это увеличение было больше, а в некоторых — меньше. В период с середины 1980-х годов наблюдалось несколько

повышений концентраций озона в глобальной тропосфере в большинстве из тех нескольких отдаленных точек, где такое измерение регулярно проводится. Тот факт, что такое повышение не наблюдалось над Северной Америкой и Европой, можно связать с отсутствием длительного увеличения выбросов веществ-предшественников озона с этих континентов. При этом данные с некоторых станций в Азии свидетельствуют о возможном увеличении содержания тропосферного озона, что может быть связано с увеличением выбросов в Восточной Азии. Благодаря тому, что теперь проводится больше исследований с использованием моделей, чем раньше, достоверность оценок воздействия тропосферного озона возросла. Тем не менее эта достоверность все же гораздо меньше, чем для полностью перемешанных парниковых газов, хотя и больше достоверности оценки воздействия аэрозолей. Неопределенности возникают из-за ограниченности информации о распределениях озона в доиндустриальную эру и ограниченности информации, необходимой для оценки смоделированных глобальных трендов в современную эру (т. е. после 1960 г.).

#### *Газы только с косвенным радиационным воздействием*

Несколько химически активных газов, включая химически активные разновидности азота ( $\text{NO}_x$ ), монооксид углерода ( $\text{CO}$ ) и летучие органические соединения (ЛОС), частично регулируют окисляющую способность тропосферы так же, как и содержание озона. Эти загрязняющие вещества действуют в качестве косвенных парниковых газов, оказывая свое влияние не только на озон, но и на время существования в атмосфере  $\text{CH}_4$  и других парниковых газов. Выбросы  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  определяются деятельностью человека.

Монооксид углерода определяется как важный косвенный парниковый газ. Осуществленные с помощью моделей расчеты показывают, что выброс 100 Мт  $\text{CO}$  эквивалентен в смысле пертурбаций, вызываемых парниковыми газами, выбросу примерно 5 Мт  $\text{CH}_4$ . Содержание  $\text{CO}$  в атмосфере над северным полушарием примерно в два раза превышает это содержание в южном полушарии и в течение второй половины XX столетия оно постоянно возрастало параллельно с процессом индустриализации и ростом населения.

Химически активные разновидности азота  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  (совокупность которых обозначается  $\text{NO}_x$ ) являются ключевыми соединениями в химии тропосферы, однако их общее радиационное влияние все еще трудно определить в количественных показателях. Важное значение  $\text{NO}_x$  в радиационном балансе связано с тем, что повышение концентраций  $\text{NO}_x$  нарушает существование нескольких парниковых газов; например, происходят уменьшения в концентрациях метана и ХФУ и увеличения в содержании озона в тропосфере. Осаждения продуктов реакции  $\text{NO}_x$  удобряют биосферу, способствуя тем самым уменьшению концентраций  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Увеличения концентраций  $\text{NO}_x$ , запрогнозированные на период 2100 г., хотя их и трудно количественно определить, приведут к значительным изменениям в концентрациях парниковых газов.

### С.3 Наблюдаемые и смоделированные изменения в аэрозолях

Аэрозоли (находящиеся в воздухе микроскопические частицы и капли), как известно, в значительной степени влияют на радиационный баланс Земли/атмосферы. Радиационное влияние аэрозолей происходит двумя различными путями, а именно: (i) прямое влияние, при котором аэрозоли сами рассеивают и поглощают солнечное и тепловое инфракрасное излучение, и (ii) косвенное влияние, когда аэрозоли видоизменяют микрофизические и, соответственно, радиационные свойства облаков и их количества. Аэрозоли образуются в результате множества процессов как естественного (включая пылевые бури и вулканическую деятельность), так и антропогенного (включая сжигание ископаемых видов топлива и биомассы) характера. Концентрации тропосферных аэрозолей в атмосфере, как представляется, возросли в последние годы вследствие увеличения антропогенных выбросов частиц и газов — их предшественников, способствуя тем самым радиационному воздействию. Большая часть аэрозолей находится в нижнем слое тропосферы (на высоте менее нескольких километров), при этом радиационное влияние многих аэрозолей чувствительно к вертикальному распределению. Аэрозоли, находясь в атмосфере, подвергаются химическим и физическим изменениям, особенно внутри облаков, и удаляются из атмосферы в больших количествах и сравнительно быстро атмосферными осадками (как правило, в течение одной недели). Вследствие столь короткого времени пребывания в атмосфере и неоднородности источников аэрозоли распределяются неоднородно в тропосфере, при этом их максимальное количество остается около источников. Радиационное воздействие, связанное с аэрозолями, зависит не только от этого пространственного распределения, но также и от размера, формы и химического состава частиц, а также от различных аспектов (например образования облаков) гидрологического цикла. Учитывая наличие всех этих факторов было очень трудно как с теоретической точки зрения, так и с применением данных практических наблюдений, получить точную оценку этого воздействия.

*Тем не менее, удалось добиться значительных успехов в улучшенном определении прямого влияния широкого ряда различных аэрозолей.* В ВДО рассматривалось прямое влияние только трех разновидностей антропогенных аэрозолей, а именно: сульфатных аэрозолей, аэрозолей от сжигания биомассы и черного углерода (или сажи) от сжигания ископаемых видов топлива. На сегодняшний день данные наблюдений показали, что как в углеродистых аэрозолях от сжигания ископаемых видов топлива, так и в углеродистых аэрозолях от сжигания биомассы, важное значение имеют органические вещества. В период после выхода ВДО, благодаря включению оценок содержания органических углеродных аэрозолей от сжигания ископаемых видов топлива, увеличилось значение прогнозируемой общей оптической толщины (и последующего отрицательного воздействия),

связанной с промышленными аэрозолями. Прогресс, достигнутый в области проведения наблюдений и работы с моделями аэрозолей и излучения, позволили получить количественные оценки этих отдельных компонентов, а также оценку диапазона радиационного воздействия, связанного с минеральной пылью, как это показано на рисунке ТР-9. Прямое радиационное воздействие, согласно оценкам, составляет  $-0,4 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  для сульфатов,  $-0,2 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  для аэрозолей от сжигания биомассы,  $-0,1 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  для органического углерода от сжигания ископаемых видов топлива и  $+0,2 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  для аэрозолей в виде черного углерода от сжигания ископаемых видов топлива. При этом, однако, неопределенности остаются сравнительно большими. Это связано с трудностями в определении концентраций и радиационных характеристик аэрозолей в атмосфере и доли аэрозолей, имеющих антропогенное происхождение, в частности определение источников углеродистых аэрозолей. Эти неопределенности ведут к значительным расхождениям (в диапазоне от двух до трех раз) в определении нагрузки и к значительным расхождениям в определении вертикального распределения (в 10 раз). Плохо определены в количественном отношении также антропогенные аэрозоли в виде пыли. Данные наблюдений со спутников вместе с результатами расчетов с помощью моделей дают возможность идентифицировать пространственное присутствие общего аэрозольного радиационного влияния на чистом небе; однако количественные показатели при этом все еще остаются неопределенными.

*Оценки косвенного радиационного воздействия под влиянием антропогенных аэрозолей остаются проблематичными, хотя полученные в ходе наблюдений свидетельства указывают на отрицательное косвенное воздействие под влиянием аэрозолей в теплых облаках.* Для оценки косвенного воздействия аэрозолей существуют два различных подхода, а именно: эмпирические методы и механистические методы. Первые из них применялись для оценки влияния сульфатных аэрозолей, а вторые — для оценки влияния сульфатных аэрозолей, а также углеродистых аэрозолей от сжигания ископаемых видов топлива и аэрозолей от сжигания биомассы. В дополнение к этому использовались и модели косвенного влияния для оценки влияния первоначального изменения в размерах и концентрациях капель (первого косвенного влияния), а также влияния последующего изменения в интенсивности осадков (второго косвенного влияния). Результаты исследований, проиллюстрированные на рисунке ТР-9, представляют собой экспертную оценку диапазона первого из этих влияний; этот диапазон в настоящем докладе несколько шире, чем представленный в ВДО; радиационная пертурбация, связанная со вторым косвенным влиянием, имеет тот же знак и может иметь ту же величину, что и первое влияние.

*Косвенное радиационное влияние аэрозолей, согласно современным представлениям, действует также на*

ледяные облака и облака в смешанном состоянии, хотя величина любого такого косвенного влияния неизвестна; при этом его знак, вероятно, является положительным. В настоящее время не представляется возможным оценить количество антропогенных ледяных ядер. За исключением холодных температур (ниже  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), при которых, по предположениям, преобладает гомогенная нуклиация, механизмы образования льда в этих облаках пока еще неизвестны.

#### **С.4 Наблюдаемые изменения в других антропогенных воздействующих факторах**

##### **Изменение землепользования (альbedo)**

Изменения в землепользовании, основным моментом которых является сведение лесов, привели, как представляется, к отрицательному радиационному воздействию в  $-0,2 \pm 0,2\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  (рисунок ТР-8). Самое значительное влияние, по оценкам, наблюдается в высоких широтах. Это связано с тем, что сведение лесов привело к замене покрытых снегом лесов со сравнительно низким альbedo открытыми, покрытыми снегом пространствами с более высоким альbedo. Приведенная выше оценка основана на результатах моделирования, в ходе которого существовавший в доиндустриальную эру растительный покров был заменен современными структурами землепользования. Однако уровень знаний об этом воздействии очень низок, и в отношении этого воздействия проводилось гораздо меньше исследований, чем в отношении других факторов, рассматриваемых в настоящем докладе.

#### **С.5 Наблюдаемые и смоделированные изменения в солнечной и вулканической активности**

Радиационное воздействие климатической системы под влиянием изменения количества солнечного излучения составило, по оценкам, в период с 1750 г. по настоящее время  $0,3 \pm 0,2\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  (рисунок ТР-8), и большая часть этого изменения, по оценкам, пришлась на первую половину XX столетия. Основным источником всей энергии в климатической системе Земли является излучение, приходящее от Солнца. Соответственно, колебания в солнечном излучении являются фактором радиационного воздействия. Абсолютное значение спектрально проинтегрированного общего солнечного излучения (ОСИ), приходящего на Землю, как известно на сегодняшний день, составляет примерно  $4\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ ; при этом проводящиеся начиная с конца 1970-х годов наблюдения со спутников свидетельствуют об относительных колебаниях в ходе последних двух 11-летних циклов солнечной активности примерно на 0,1 %, что эквивалентно изменению радиационного воздействия примерно на  $0,2\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ . Надежных данных прямых измерений солнечного излучения за период до начала проведения наблюдений со спутников не имеется. Колебания в течение более продолжительных периодов могли быть гораздо большими, однако методы, используемые для воссоздания исторических значений ОСИ на основе косвенных наблюдений (например, за пятнами на Солнце), не были должным образом проверены. Колебания солнечного излучения

проявляются гораздо заметнее в ультрафиолетовой части спектра, а исследования с использованием моделей климата позволяют предположить, что включение данных о колебаниях спектрально разрешенного солнечного излучения и об изменениях содержания озона в стратосфере под влиянием Солнца может сделать более реальными результаты моделирования влияния изменчивости солнечного излучения на климат. Были изложены также представления и о других механизмах усиления влияния Солнца на климат, однако они не имеют надежной теоретической или учитывающей данные наблюдений основы.

Аэрозоли, появляющиеся в стратосфере в результате извержений вулканов, вызывают отрицательное воздействие, которое сохраняется в течение нескольких лет. Несколько извержений вулканов произошло в периоды с 1880 г. по 1920 г. и с 1960 г. по 1991 г., а с 1991 г. извержений вулканов не было. Увеличенное содержание аэрозолей в стратосфере вследствие извержений вулканов, наряду с небольшими колебаниями солнечного излучения, послужили причиной нетто-отрицательного естественного радиационного воздействия в течение последних двух, а возможно даже и последних четырех десятилетий.

#### **С.6 Возможности глобального потепления**

Радиационное воздействие и возможности глобального потепления (ВГП) представлены в таблице ТР-3 для расширенного ряда газов. ВГП — это мера относительного радиационного влияния какого-либо заданного вещества в сопоставлении с  $\text{CO}_2$ , проинтегрированного по выбранному временному горизонту. К новым категориям газов в таблице ТР-3 относятся фторированные органические молекулы, многие из которых являются эфирами, которые, по предположениям, замещают галоидуглероды. Некоторые ВГП характеризуются большими неопределенностями, чем другие, особенно в отношении тех газов, относительно которых пока еще не получены подробные лабораторные данные о времени их сохранения в атмосфере. Прямые ВГП рассчитаны относительно  $\text{CO}_2$  с использованием усовершенствованных расчетов радиационного воздействия  $\text{CO}_2$ , представленной в ВДО функции реагирования на импульс  $\text{CO}_2$  и новых значений для радиационного воздействия и сроков сохранения в атмосфере ряда галоидуглеродов. Косвенные ВГП, которые могут явиться результатом косвенного радиационного воздействия, также рассчитаны для некоторых новых газов, включая окись углерода. Прямые ВГП для тех разновидностей, время пребывания которых в атмосфере хорошо известно, оценены в  $\pm 35\%$ , однако косвенные ВГП пока остаются менее определенными.

## **D. Моделирование климатической системы и ее изменений**

В предыдущих двух разделах сообщалось о состоянии климата с давних времен до настоящего дня на основе наблюдений климатических переменных и факторов

**Таблица TP-3.** Непосредственные потенциалы глобального потепления (ПГП) относительно двуокиси углерода (для газов, продолжительность жизни которых характеризуется должным образом). ПГП — это показатель для оценки относительного вклада глобального потепления вследствие атмосферного выброса 1 кг конкретного парникового газа по сравнению с выбросом 1 кг двуокиси углерода. ПГП, рассчитанные для различных временных горизонтов, показывают последствия продолжительности жизни в атмосфере различных газов. [На основе таблицы 6.7]

Газ		Продолжительность жизни (годы)	Потенциал глобального потепления (временная перспектива в годах)		
			20 лет	100 лет	500 лет
Двуокись углерода	CO <sub>2</sub>		1	1	1
Метан <sup>a</sup>	CH <sub>4</sub>	12,0 <sup>b</sup>	62	23	7
Закись азота	N <sub>2</sub> O	114 <sup>b</sup>	275	296	156
<b>Гидрофторуглероды</b>					
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	260	9400	12000	10000
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	5,0	1800	550	170
HFC-41	CH <sub>3</sub> F	2,6	330	97	30
HFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	29	5900	3400	1100
HFC-134	CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	9,6	3200	1100	330
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	13,8	3300	1300	400
HFC-143	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> F	3,4	1100	330	100
HFC-143a	CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	52	5500	4300	1600
HFC-152	CH <sub>2</sub> FCH <sub>2</sub> F	0,5	140	43	13
HFC-152a	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	1,4	410	120	37
HFC-161	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	0,3	40	12	4
HFC-227ea	CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub>	33	5600	3500	1100
HFC-236cb	CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	13,2	3300	1300	390
HFC-236ea	CHF <sub>2</sub> CHFCF <sub>3</sub>	10	3600	1200	390
HFC-236fa	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	220	7500	9400	7100
HFC-245ca	CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	5,9	2100	640	200
HFC-245fa	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	7,2	3000	950	300
HFC-365mfc	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	9,9	2600	890	280
HFC-43-10mee	CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	15	3700	1500	470
<b>Полностью фторированные виды</b>					
SF <sub>6</sub>		3200	15100	22200	32400
CF <sub>4</sub>		50000	3900	5700	8900
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>		10000	8000	11900	18000
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>		2600	5900	8600	12400
C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>		2600	5900	8600	12400
c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>		3200	6800	10000	14500
C <sub>5</sub> F <sub>12</sub>		4100	6000	8900	13200
C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>		3200	6100	9000	13200
<b>Эфиры и галогенизированные эфиры</b>					
CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>		0,015	1	1	<<1
HFE-125	CF <sub>3</sub> OCHF <sub>2</sub>	150	12900	14900	9200
HFE-134	CHF <sub>2</sub> OCHF <sub>2</sub>	26,2	10500	6100	2000
HFE-143a	CH <sub>3</sub> OCF <sub>3</sub>	4,4	2500	750	230
HCFE-235da2	CF <sub>3</sub> CHClOCHF <sub>2</sub>	2,6	1100	340	110
HFE-245fa2	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCHF <sub>2</sub>	4,4	1900	570	180
HFE-254cb2	CHF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> OCH <sub>3</sub>	0,22	99	30	9
HFE-7100	C <sub>4</sub> F <sub>9</sub> OCH <sub>3</sub>	5,0	1300	390	120
HFE-7200	C <sub>4</sub> F <sub>9</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	0,77	190	55	17
H-Galden 1040x	CHF <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> OC <sub>2</sub> F <sub>4</sub> OCHF <sub>2</sub>	6,3	5900	1800	560
HG-10	CHF <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> OCHF <sub>2</sub>	12,1	7500	2700	850
HG-01	CHF <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> OCHF <sub>2</sub>	6,2	4700	1500	450
<sup>a</sup> ПГП, вызванные метаном, включают косвенный вклад стратосферного образования H <sub>2</sub> O и O <sub>3</sub> .					
<sup>b</sup> Величины для метана и закиси азота — это время адаптации, которое включает косвенные последствия выброса каждого газа для его собственной продолжительности жизни.					

воздействия, которые вызывают изменение климата. В настоящем разделе делается переход к климату будущего посредством описания единственного инструмента,

который обеспечивает количественные оценки будущих изменений климата, а именно численных моделей. Понимание энергетического баланса системы Земля на базовом

уровне означает, что совершенно простые модели могут обеспечить широкую количественную оценку некоторых глобально усредненных переменных величин, однако более точные оценки обратных связей и региональных подробностей могут быть получены только благодаря более сложным моделям климата. Сложный характер процессов, происходящих в климатической системе, не допускает использования экстраполяции прошлых тенденций или статистических и прочих чисто эмпирических методов для получения перспективных оценок. Климатические модели могут использоваться для имитации реагирования климата на различные исходные сценарии будущих факторов воздействия (раздел F). Аналогичным образом, для прогнозирования дальнейшей судьбы выброшенных  $\text{CO}_2$  (т. е. относительного поглощения различными накопителями) и других парниковых газов требуется понимание соответствующих биогеохимических процессов и включение этих данных в численную модель круговорота углерода.

Климатическая модель — это упрощенное математическое представление климатической системы Земли (см. текстовой блок TP-3). То, в какой степени эта модель может имитировать реакцию климатической системы, в весьма значительной мере зависит от уровня понимания физических, геофизических, химических и биологических процессов, которые управляют климатической системой. Со времени ВДО исследователи добились значительных достижений в имитации климатической системы Земли при помощи моделей. Во-первых, в данном документе дается краткое изложение существующего понимания некоторых из наиболее важных процессов, которые управляют климатической системой, и того, насколько хорошо они представлены в современных климатических моделях. Затем в этом разделе дается оценка общей способности современных моделей делать полезные и перспективные оценки будущего климата.

### **D.1 Климатические процессы и обратные связи**

Процессы, происходящие в климатической системе, определяют естественную изменчивость климатической системы и ее реагирование на пертурбации, такие, как повышение атмосферных концентраций парниковых газов. Многие базовые климатические процессы, имеющие важное значение, хорошо известны и моделируются исключительно хорошо. Процессы обратной связи усиливают (позитивная обратная связь) или ослабляют (негативная обратная связь) изменения в реагировании на первоначальную пертурбацию и, следовательно, имеют весьма важное значение для точного имитирования эволюции климата.

#### **Водяной пар**

*Основным фактором обратной связи, объясняющим значительное потепление, прогнозируемое климатическими моделями в ответ на повышение концентрации  $\text{CO}_2$ , является повышение показателя водяного пара в*

*атмосфере. Повышение температуры атмосферы увеличивает ее способность удерживать воду; в то же время, поскольку большая часть атмосферы является недостаточно насыщенной, это не означает автоматически, что должно произойти само по себе увеличение водяного пара. В рамках пограничного слоя (приблизительно самые низкие 1—2 км атмосферы) происходит увеличение водяного пара по мере роста температуры. В свободной тропосфере выше пограничного слоя, где парниковый эффект водяного пара является самым значительным, определить ситуацию в количественном плане более сложно. Фактор обратной связи водяного пара, согласно данным последних моделей, приблизительно удваивает потепление по сравнению с тем показателем, которым характеризовался бы устойчивый уровень водяного пара. Со времени ВДО достигнут большой прогресс в плане обработки данных о водяном паре в моделях, хотя выделение влаги из облаков по-прежнему остается весьма неопределенным и существуют разногласия между модельными распределениями водяного пара и теми, которые наблюдаются в реальности. Модели в состоянии имитировать влажные и очень сухие регионы, наблюдаемые в тропиках и субтропиках, а также процесс их эволюции от сезона к сезону и из года в год. Это вселяет уверенность, однако не дает возможности проверить обратные связи, несмотря на то что баланс конкретных фактов свидетельствует в пользу позитивной обратной связи водяного пара в условиях чистого неба, величина которой сопоставима с данными, полученными в результате имитаций.*

#### **Облака**

Подобно тому, как это было после Первого доклада МГЭИК об оценках в 1990 г., вероятно, самая большая неопределенность в будущих перспективных оценках климата связана с облаками и их взаимодействиями с радиацией. Облака могут как поглощать, так и отражать солнечную радиацию (охлаждая, таким образом, поверхность), и поглощать, а также испускать излучение в диапазоне длинных волн (нагревая, таким образом, поверхность). Конкуренция между этими двумя воздействиями зависит от высоты, толщины и радиоактивных свойств облаков. Радиоактивные свойства и эволюция облаков зависят от распределения атмосферного водяного пара, водяных капель, частичек льда, атмосферных аэрозолей и толщины облаков. Физическая основа параметризации облаков значительно улучшена в моделях благодаря включению объемного представления микрофизических свойств облаков в уравнении водного баланса облака, хотя по-прежнему сохраняется значительная неопределенность. Облака являются значительным источником потенциальной ошибки при имитациях климата. Возможность того, что модели систематически недооценивают поглощение солнечной энергии в облаках, остается спорным вопросом. Знак чистой обратной связи облаков до сих пор остается предметом неопределенности, и разнообразные модели показывают большой разброс.

Дополнительные неопределенности возникают из-за процессов выпадения осадков и трудности правильного имитирования суточного цикла, а также объемов и частоты осадков.

### Стратосфера

Наблюдается все большее понимание важного значения стратосферы в климатической системе благодаря изменениям в ее структуре и признанию жизненно важной роли как радиационных, так и динамических процессов. Вертикальный профиль изменения температуры в атмосфере, включая стратосферу, является важным показателем исследований по выявлению и объяснению явлений. Большинство наблюдаемых уменьшений температуры в нижней части стратосферы были вызваны скорее сокращением озона, частью которого является антарктическая «озоновая дыра», а не повышением концентрации  $\text{CO}_2$ . Образующиеся в тропосфере волны могут доходить до стратосферы, где происходит их поглощение. В результате этого стратосферные изменения меняются в зависимости от места и способа поглощения этих волн, и эти воздействия могут распространяться, следуя в нижнем направлении в тропосферу. Изменения солнечного излучения, главным образом ультрафиолетового (УФ), приводят к изменению озона фотохимического происхождения и соответственно изменяют показатели стратосферного нагревания, которые могут изменить тропосферную циркуляцию. Ограничения в разрешающей способности и относительно плохое представление некоторых стратосферных процессов усугубляют неопределенность результатов моделей.

### Океан

В моделировании океанических процессов, в частности переноса тепла, произошли значительные усовершенствования. Эти усовершенствования в сочетании с повышением разрешающей способности имели важное значение для уменьшения необходимости корректировки потока в моделях и проведения реалистичных имитаций естественных крупномасштабных моделей циркуляции и улучшения имитации Эль-Ниньо (см. текстовый блок ТР-4). Океанские течения переносят тепло из тропиков в более высокие широты. Океан обменивается с атмосферой теплом, водой (через испарение и осадки) и  $\text{CO}_2$ . Ввиду своей колоссальной массы и высокой тепловой емкости океан замедляет изменение климата и влияет на временные масштабы изменчивости в системе океан-атмосфера. Достигнут значительный прогресс в познании океанических процессов, имеющих отношение к изменению климата. Повышение разрешающей способности, а также более совершенное представление (параметризация) важных процессов в масштабе меньше сетки (например мезомасштабные вихревые потоки), повысили реализм имитаций. Основные неопределенности до сих пор существуют в отношении представления мелкомасштабных процессов, таких, как разливы (поток, проходящий через узкие каналы, например между Гренландией и Исландией), западные пограничные течения (например крупномасштабные узкие

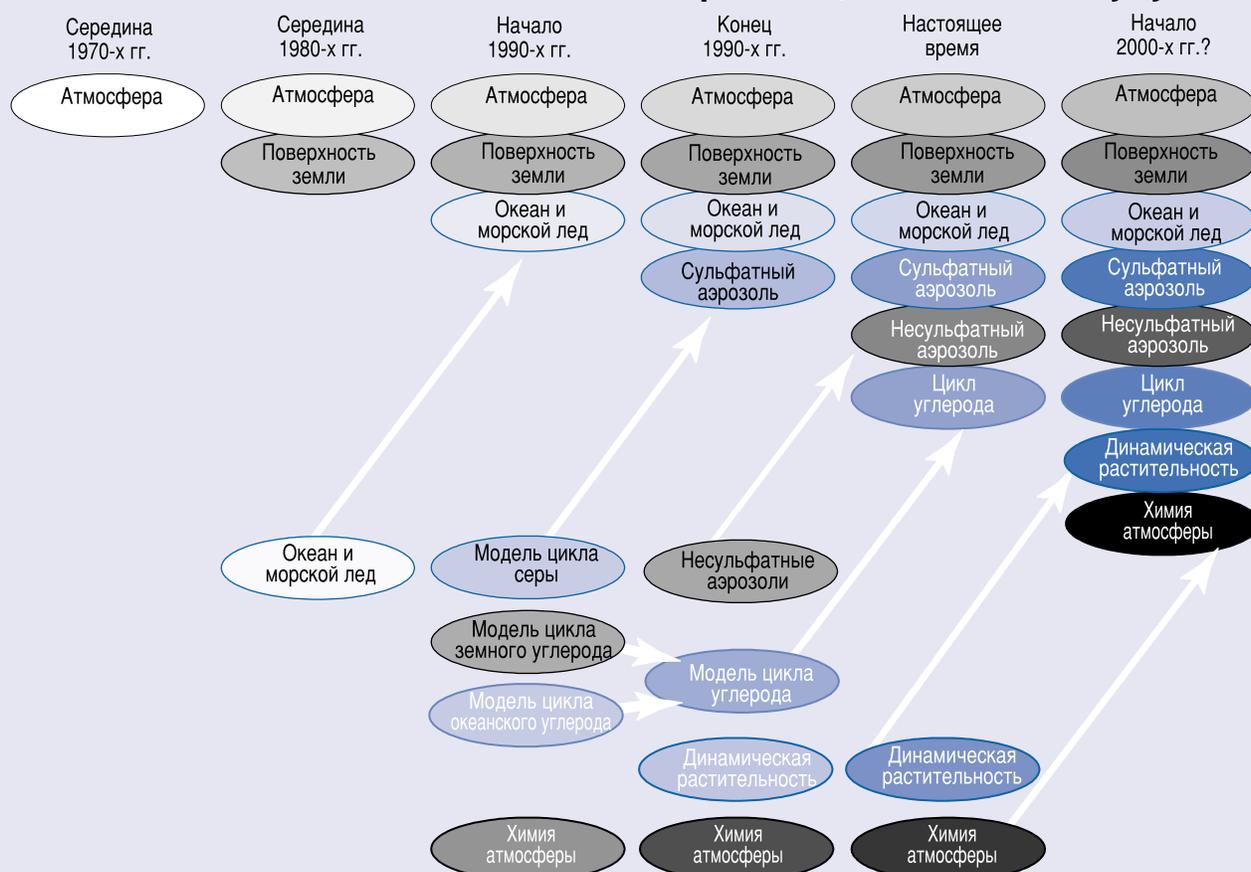
### Текстовый блок ТР-3. Климатические модели: каким образом они строятся и применяются?

Всеобъемлющие климатические модели строятся по физическим законам, представленным математическими уравнениями, которые решаются с использованием трехмерной сетки над глобусом. Для имитации климата основные компоненты климатической системы должны быть представлены в подмоделях (атмосфера, океан, земная поверхность, криосфера и биосфера) наряду с процессами, которые происходят внутри и между ними. Большинство результатов в этом докладе получено из результатов моделей, которые включают определенное представление всех этих компонентов. Модели глобального климата, в которых компоненты атмосферы и океана соединены вместе, известны в качестве моделей общей циркуляции системы атмосфера-океан (МОЦАО). В атмосферном модуле, например, решаются уравнения, посредством которых описывается крупномасштабная эволюция количества движения, тепла и влажности. Аналогичные уравнения решаются для океана. В настоящее время разрешающая способность атмосферной части типичной модели составляет около 250 км по горизонтали и около 1 км по вертикали над пограничным слоем. Разрешающая способность типичной модели океана составляет около 200—400 м по вертикали с горизонтальной разрешающей способностью порядка 125—250 км. Уравнения обычно решаются для каждого получасового интервала модельной интеграции. Многие физические процессы, такие, как процессы, связанные с облаками или конвекцией океана, происходят в гораздо меньших пространственных масштабах по сравнению с модельной сеткой, и в этой связи их невозможно моделировать и решать четким образом. Их усредненные последствия включаются на приблизительной основе просто за счет использования физических связей с более крупномасштабными переменными. Подобный метод известен как параметризация.

Для подготовки количественных перспективных оценок изменения будущего климата необходимо использовать климатические модели, которые имитируют все важные процессы, управляющие будущей эволюцией климата. Климатические модели стали более совершенными за последние несколько десятилетий благодаря повышению мощности компьютеров. В течение этого времени были отдельно разработаны, а затем постепенно интегрированы, модели основных компонентов, атмосферы, суши, океана и морского льда. Подобное соединение разнообразных компонентов является трудным процессом. Совсем недавно были инкорпорированы компоненты цикла серы для представления выбросов серы и того, каким образом они окисляются с последующим формированием аэрозольных частиц. В настоящее время в нескольких моделях проводится совмещение наземного цикла углерода и океанского цикла углерода. Компонент химии атмосферы моделируется в настоящее время за пределами основной модели климата. Конечная цель заключается, разумеется, в моделировании в максимально возможной степени всей климатической системы Земли, с тем чтобы все компоненты могли взаимодействовать, и благодаря этому прогнозы изменения климата будут постоянно учитывать последствие обратных связей между компонентами. На рисунке 1 показана прошлая, настоящая и возможно, будущая эволюция климатических моделей.

Некоторые модели нейтрализуют ошибки и расхождения поверхностного потока при помощи «корректировок потока», которые представляют собой эмпирически определяемые систематические корректировки в системе взаимодействия

## Развитие климатических моделей — прошлых, настоящих и будущих



**Текстовый блок ТР-3, рисунок 1.** Развитие климатических моделей за последние 25 лет с демонстрацией того, каким образом различные компоненты изначально развивались отдельно, а затем включались во всеобъемлющие модели климата.

атмосфера-океан с фиксированием во времени, с тем чтобы привести имитируемый климат ближе к наблюдаемому состоянию. Разработана стратегия для проведения климатических экспериментов, благодаря которой ликвидируются многие из воздействий некоторых модельных ошибок на результаты. Часто вместе с моделью делается прогон первой «контрольной» имитации климата. После этого делается прогон экспериментальной имитации изменения климата, например с повышенным содержанием  $\text{CO}_2$  в модельной атмосфере. И наконец, берется разница для получения оценки изменения в климате, вызванного пертурбацией. Посредством метода получения разницы снимается большинство последствий любых искусственных корректировок в модели, а также систематические ошибки, которые обычно возникают при обоих прогонах. В то же время, благодаря сравнению результатов различных моделей, становится очевидно, что природа некоторых ошибок все еще оказывает влияние на конечный результат.

Многие аспекты климатической системы Земли являются хаотичными — ее эволюция чувствительно реагирует на малейшие пертурбации в исходных условиях. Подобная чувствительность ограничивает предсказуемость подробной эволюции погоды приблизительно двухнедельным сроком. В

то же время, предсказуемость климата не является столь ограниченной вследствие систематического влияния на атмосферу более медленно меняющихся компонентов климатической системы. Тем не менее, для подготовки надежных прогнозов при наличии как исходного условия, так и модельной неопределенности, желательно многократно повторить предсказания, исходя из различных первоначальных состояний возмущения, а также используя различные глобальные модели. Эти ансамбли являются основой вероятности прогнозов состояния климата.

Всеобъемлющие МОЦАО являются весьма сложными и для их прогона требуются значительные компьютерные мощности. Для исследования различных сценариев выбросов парниковых газов и последствий допущений или аппроксимаций в параметрах в модели более тщательным образом также широко используются более простые модели. Варианты упрощения могут включать более масштабную разрешающую способность, а также упрощенные динамические физические процессы. В своей совокупности простые, промежуточные и всеобъемлющие модели образуют «иерархию климатических моделей», все из которых являются необходимыми для изучения выборов, сделанных в параметризациях, и оценки четкости климатических изменений.

течения вдоль береговых линий), конвекция и смешивание. Пограничные потоки в имитации климата слабее и шире по сравнению с существующими в природе, хотя последствия этого для климата остаются неясными.

### Криосфера

*Продолжается усовершенствование представления процессов морского льда, при этом несколько моделей климата инкорпорируют сейчас физически обоснованные режимы динамики льда. Представление процессов материкового льда в моделях глобального климата остается рудиментарным.* Криосфера состоит из тех регионов Земли, которые в определенный сезон или круглый год покрыты снегом и льдом. Морской лед имеет важное значение, поскольку он отражает больше поступающей солнечной радиации, нежели морская поверхность (т. е. он обладает высоким альбедо), и он изолирует море от потери тепла в зимний период. В этой связи уменьшение объема морского льда вызывает позитивное обратное воздействие на потепление климата в высоких широтах. Кроме того, поскольку морской лед содержит меньше соли, чем морская вода, при образовании морского льда происходит увеличение содержания соли (соленость) и плотности поверхностного слоя. Это способствует обмену воды с более глубинными слоями океана, влияя на циркуляцию океана. В результате образования айсбергов и таяния шельфовых ледников пресная вода с суши возвращается в океан, в связи с чем изменения в темпах этих процессов могут повлиять на циркуляцию океана вследствие изменения солености поверхности моря. Снег имеет более высокое альбедо по сравнению с поверхностью суши; следовательно, уменьшение снежного покрова ведет к аналогичному позитивному обратному воздействию альбедо, хотя и более слабому по сравнению с морским льдом. В некоторые климатические модели вводятся в масштабе меньше сетки все более сложные схемы снега и изменчивости в протяженности и толщине ледяного покрова, которые могут существенным образом повлиять на альбедо и обмены в системе атмосфера-океан.

### Земная поверхность

*Результаты исследований с использованием моделей, содержащих самые последние представления земной поверхности, показывают, что прямые воздействия более высоких концентраций CO<sub>2</sub> на физиологию растений могут привести к относительному уменьшению эвапотранспирации над тропическими континентами, сопровождаемому региональным потеплением и осушением, по сравнению с теми показателями, которые предсказывались для обычных последствий потепления в результате парникового эффекта.* Изменения поверхности земли вызывают важные обратные связи, поскольку изменение климата антропогенного происхождения (например: повышение температуры, изменения осадков, изменения чистого радиационного обогрева и прямые последствия CO<sub>2</sub>) окажут влияние на состояние земной поверхности (например: увлажненность почвы, альбедо, неровность поверхности и растительность). Обмены энергией, количеством движения, водой, теплом и углеродом, которые происходят между земной поверхностью и атмосферой, могут быть определены в моделях

в качестве функций типа и плотности местной растительности, а также глубины и физических свойств почвы, при этом все они основаны на базах данных о земной поверхности, которые совершенствовались с использованием спутниковых наблюдений. Последние достижения в области познания фотосинтеза растительности и использования водных ресурсов использовались в целях объединения циклов наземной энергии, воды и углерода в рамках нового поколения параметризации земной поверхности, которые испытывались в сопоставлении с полевыми наблюдениями и осуществлялись в нескольких МОЦ с явным повышением качества имитации потоков в системе Земля-атмосфера. В то же время еще предстоит решить значительные проблемы в таких областях, как процессы увлажнения почвы, прогнозирование стока, изменения в землепользовании и разнородности в масштабе меньше сетки.

Изменения в покрытии земной поверхности могут воздействовать на глобальный климат несколькими путями. Крупномасштабное обезлесивание во влажных тропиках (например: Южная Америка, Африка и Юго-Восточная Азия) было определено в качестве самого важного текущего процесса, связанного с земной поверхностью, поскольку он приводит к уменьшению испаряемости и повышению приземной температуры. Эти воздействия качественно воспроизводятся большинством моделей. В то же время, до сих пор существуют существенные неопределенности в отношении количественного последствия крупномасштабного обезлесивания на гидрологический цикл, особенно над Амазонией.

### Цикл углерода

*Последние усовершенствования наземных и океанических моделей цикла углерода, основанных на процессе, и их оценка в сравнении с данными наблюдений повысили степень достоверности при их использовании для целей исследований будущих сценариев.* Циклы CO<sub>2</sub> осуществляются, естественно, между атмосферой, океанами и сушей. В то же время, гораздо больше времени занимает прекращение действия в атмосфере пертурбации CO<sub>2</sub>, привнесенной в результате деятельности человека. Это объясняется теми процессами, которые ограничивают ту скорость, с которой могут увеличиваться океанические и наземные накопления углерода. Антропогенный CO<sub>2</sub> поглощается океаном ввиду его высокой растворимости (вызываемой природой химии углерода), однако скорость поглощения ограничена предельной скоростью вертикального перемешивания. Антропогенный CO<sub>2</sub> поглощается наземными экосистемами через несколько возможных механизмов, например: землеустройство, обогащение атмосферы двуокисью углерода (ускорение роста растений в результате повышения атмосферной концентрации CO<sub>2</sub>) и повышение количества азота антропогенного происхождения. Подобное поглощение ограничено относительно незначительной долей углерода растительного происхождения, которая может храниться длительное время (древесина и гумус). По мере увеличения концентрации CO<sub>2</sub> ожидается уменьшение доли выброшенного CO<sub>2</sub>, которая может быть поглощена океанами и сушей. Основанные на процессе модели океанических и земных циклов углерода (включая представления физических,

### Текстовый блок ТР-4. Явление Эль-Ниньо/южное колебание (ЭНСО)

Самое крупное естественное колебание климата в межгодовом временном масштабе — это явление Эль-Ниньо/южное колебание (ЭНСО). Термин «Эль-Ниньо» первоначально применялся к ежегодному слабому теплоту океанскому течению, которое проходит в южном направлении вдоль побережья Перу, приблизительно в период рождества, и которое лишь впоследствии стали связывать с необычно масштабными потеплениями. В то же время, потепление в прибрежной зоне часто связано с гораздо более обширным аномальным потеплением океана в направлении международной демаркационной линии суточного времени, и именно это явление, охватывающее весь бассейн Тихого океана, создает связь с аномальными моделями глобального климата. Атмосферный компонент, связанный с «Эль-Ниньо», именуется «южное колебание». Ученые часто называют это явление ЭНСО (явление Эль-Ниньо/южное колебание), при котором происходит взаимодействие между атмосферой и океаном.

ЭНСО — это естественное явление, и существуют весомые доказательства, полученные благодаря кернам кораллов и ледникового льда Анд, того, что оно продолжается в течение тысячелетий. Состояние океана и атмосферные условия в тропической части Тихого океана редко характеризуются усредненными показателями и колеблются скорее с нерегулярными интервалами между событиями Эль-Ниньо и противоположной фазой Ла-Нинья, приводя к охлаждению целого бассейна тропической части Тихого океана, при этом это явление чаще всего происходит в периоды с разрывом порядка 3—6 лет. Наиболее интенсивная фаза каждого события обычно продолжается около года. Ярко выраженная структура температур морской поверхности в Тихом океане создает условия для событий ЭНСО. Главными характеристиками являются «теплые бассейны» в тропическом районе западной части Тихого океана, где находятся самые теплые океанские воды в мире, гораздо более холодные воды в восточной части Тихого океана и холодные воды в виде языка вдоль экватора, которые больше всего проявляются в октябре и менее всего в марте месяце. Атмосферные восточные пассаты в тропиках аккумулируют теплые воды в западной части, создавая угол наклона уровня моря вдоль линии экватора 0,60 м с востока на запад. Ветры приводят в движение

поверхностные океанские течения, которые определяют места потоков и отклонений поверхностных вод. Таким образом, более прохладные, богатые питанием воды поднимаются из глубин вдоль экватора и западного побережья Американского континента, способствуя развитию фитопланктона, зоопланктона и соответственно рыбы. Поскольку конвекция и грозы чаще происходят над более теплыми водами, структура температур поверхности моря определяется распределением осадков в тропиках, а это, в свою очередь, определяет структуры атмосферного нагревания в результате освобождения скрытого тепла. Нагревание вызывает широкомасштабные циркуляции муссонного типа в тропиках и соответственно определяет характер ветров. Это прочное совмещение факторов атмосферы и океана в тропиках вызывает явление Эль-Ниньо. Во время Эль-Ниньо теплые воды из западной тропической части Тихого океана движутся в восточном направлении по мере ослабления пассатов, сдвигая схему тропических ливней и еще больше ослабляя пассаты, и усиливая, таким образом, изменения температур моря. Уровень моря снижается на западе, но поднимается на востоке на 0,25 м по мере того, как теплые воды движутся вдоль экватора в восточном направлении. В то же время, изменения в атмосферной циркуляции не ограничиваются тропиками, а распространяются в глобальных масштабах и влияют на струйные течения и траектории штормов в средних широтах. Приблизительно обратные схемы имеют место во время противоположной фазы Ла-Нинья данного явления.

Связанные с ЭНСО изменения вызывают значительные колебания погоды и климата во всем мире, которые продолжают из года в год. Последние нередко оказывают очень сильное воздействие на население земли и общество вследствие связанных с ними засух, наводнений, волн тепла и прочих изменений, которые серьезным образом нарушают деятельность в области сельского хозяйства, рыбных промыслов, состояния окружающей среды, здоровья, спроса на энергию, качество воздуха, а также изменяют риски пожара. ЭНСО играет также весьма важную роль в модулировании обменов  $\text{CO}_2$  с атмосферой. Во время Эль-Ниньо нарушается нормальный подъем холодных глубинных вод, богатых питательными веществами и  $\text{CO}_2$ , в тропической части Тихого океана.

химических и биологических процессов) были разработаны и оценивались на фоне измерений, проведенных применительно к естественному циклу углерода. Подобные модели создавались также с целью имитации вызванной деятельностью человека пертурбации цикла углерода и смогли выдать временные ряды поглощения углерода океаном и суши, которые в целом совпадают с наблюдаемыми глобальными тенденциями. До сих пор между моделями имеются существенные различия, особенно в их методах подхода к физической циркуляции океана и реагировании на климат в региональном масштабе процессов наземных экосистем. Тем не менее, существующие

модели последовательно указывают на то, что в тех случаях, когда рассматриваются последствия изменения климата, поглощение  $\text{CO}_2$  океанами и суши становится меньше.

#### D.2 Совмещенные системы

Как отмечалось в разделе D.1, многие обратные связи функционируют в пределах индивидуальных компонентов климатической системы (атмосфера, океан, криосфера и земная поверхность). В то же время, многие важные процессы и обратные связи происходят в результате совмещения компонентов климатической системы. Их

представление имеет важное значение для предсказания крупномасштабных видов реагирования.

### *Режимы естественной изменчивости*

*Возрастает понимание того, что модели естественной циркуляции, такие, как ЭНСО и САК, играют основную роль для глобального климата и его межсезонной и долгосрочной изменчивости.* Самым значительным естественным колебанием климата в межгодовом временном масштабе является явление ЭНСО (см. текстовый блок ТР-4). Оно представляет собой естественно совмещенный режим взаимодействия системы атмосфера-океан, при этом происходит главным образом в тропической части Тихого океана, однако имеет важные последствия для регионального климата по всему миру. Лишь в настоящее время модели глобального климата начинают демонстрировать изменчивость в тропической части Тихого океана, которая напоминает ЭНСО, главным образом благодаря повышенной меридиональной разрешающей способности на экваторе. Модели температуры поверхности моря и атмосферной циркуляции, аналогичные тем моделям, которые наблюдаются во время ЭНСО в межгодовых временных масштабах, наблюдаются также в десятилетних или более продолжительных временных масштабах.

*Североатлантическое колебание (САК) — это доминирующая модель изменчивости северной зимней атмосферной циркуляции, которая моделируется со все большей степенью реальности.* САК тесно связано с арктическим колебанием (АК), которое имеет дополнительный ежегодный компонент вокруг Арктики. Существует значительное количество данных о том, что САК возникает главным образом в результате внутренних атмосферных процессов, затрагивающих всю систему тропосфера-стратосфера.

Колебания температур поверхности моря (ТПМ) в Атлантике связаны с силой САК, и умеренное двустороннее взаимодействие между САК и Атлантическим океаном, ведущее к изменчивости в десятилетнем масштабе, становится столь же важным при прогнозировании изменения климата.

*Изменение климата может проявляться как в виде факторов сдвига, так и изменения доминирующих условий конкретных климатических режимов, как это подтверждается наблюдаемой тенденцией в направлении позитивных величин за последние 30 лет в показателе САК и климатическом «сдвиге» в тропической части Тихого океана около 1976 г.* Хотя совмещенные модели имитируют характеристики наблюдаемой естественной изменчивости климата, таких, как САК и ЭНСО, что свидетельствует о том, что многие из соответствующих процессов включены в эти модели, необходим дальнейший прогресс для точного выявления этих естественных режимов. Кроме того, поскольку ЭНСО и САК являются ключевыми определяющими факторами изменения регионального

климата и могут, возможно, привести к резким и непрогнозируемым изменениям, наблюдалось усиление неопределенности в этих аспектах изменения климата, которые полностью зависят от изменений на региональном уровне.

### *Термогалинная циркуляция (ТГЦ)*

*Термогалинная циркуляция (ТГЦ) является причиной основной части переноса регионального тепла в Атлантическом океане.* ТГЦ — это перемешивание в глобальном масштабе океанских вод, которое вызывается различиями в плотности, связанными с влиянием температуры и солености. В Атлантике тепло переносится теплыми поверхностными водами, текущими в северном направлении, и холодными солеными водами из Северной Атлантики, которые возвращаются в глубинные слои. Изменения в структуре атлантической ТГЦ могут быть вызваны пертурбациями показателя взвешенности поверхностных вод, который испытывает влияние таких явлений, как: осадки, испарения, континентальный сток, образование морского льда и теплообмен — процессов, которые сами могут меняться, создавая последствия для регионального и глобального климата. Взаимодействия между атмосферой и океаном также, вероятно, будут иметь существенные значения в десятилетнем и более продолжительном временном масштабе в тех случаях, когда задействован фактор ТГЦ. Взаимодействие между крупномасштабным атмосферным воздействием наряду с потеплением и испарением в низких широтах и охлаждением и усилением осадков в высоких широтах создает основу для потенциальной нестабильности существующей атлантической ТГЦ. ЭНСО также может оказывать влияние на атлантическую ТГЦ в результате изменения баланса пресной воды и тропической части Атлантики, обеспечивая таким образом соединение между низкими и высокими широтами. Неопределенности в представлении мелкомасштабных потоков через пороги и узкие проливы, а также конвекция океана ограничивают способность моделей имитировать ситуации, связанные со значительными изменениями в ТГЦ. Меньшая соленость северной части Тихого океана означает, что глубокая ТГЦ в Тихом океане не происходит.

### *Нелинейные события и быстрое изменение климата*

*Существует возможность быстрых и необратимых изменений в климатической системе, однако имеется значительная степень неопределенности в отношении связанных с этим механизмов и, следовательно, также вероятности или временных масштабов подобных переходных процессов.* Климатическая система включает многочисленные процессы и обратные связи, которые взаимодействуют сложными нелинейными путями. Это взаимодействие может явиться причиной предельных значений в климатической системе, которые могут быть превышены в том случае, если функционирование системы нарушается достаточно сильно. Данные, полученные при помощи кернов полярного льда, свидетельствуют о том, что атмосферные режимы могут меняться в течение

нескольких лет и что крупномасштабные изменения в рамках полушария могут развиваться в течение нескольких десятилетий. Например, ряд моделей показал возможность пороговой величины для быстрого перехода атлантической ТПЦ к состоянию коллапса. Пока еще не ясно, что представляет собой эта пороговая величина и какова вероятность того, что деятельность человека приведет к тому, что она будет превзойдена (см. раздел F.6). Атмосферная циркуляция может характеризоваться различными преференциальными моделями; например, возникать в результате ЭНСО и САК/АК, и изменения в их фазе могут быть быстрыми. Базовая теория и модели показывают, что изменение климата может в первую очередь выражаться в изменениях частоты проявления этих моделей. Изменения растительности либо в результате непосредственного антропогенного обезлесивания, либо вследствие глобального потепления могут происходить быстрым образом и вызывать дальнейшие изменения климата. Предполагается, что быстрое образование Сахары около 5 500 лет назад является примером подобного нелинейного изменения земного покрова.

### D.3 Методы районирования

Информация о региональном климате рассматривалась лишь в ограниченной степени в ВДО. Со времени ВДО методы, применяемые для использования более подробной региональной информации, были значительно усовершенствованы и стали использоваться в более широких масштабах. Эти методы делятся на три категории: МОЦАО с высокой и меняющейся разрешающей способностью; региональные климатические модели (или климатические модели совокупного ограниченного района) (РКМ); и эмпирические/статистические и статистические/динамические методы. Данные методы характеризуются различными сильными и слабыми сторонами и их использование в континентальном масштабе в значительной мере зависит от потребностей конкретных применений.

МОЦАО с высокой разрешающей способностью моделируют характеристики общей атмосферной циркуляции в весьма общем плане. В региональном масштабе модели дают средние смещения по району, которые колеблются в значительных пределах от одного региона к другому, а также среди моделей, при этом усредненные смещения сезона и температуры субконтинентального района, как правило, находятся в пределах  $\pm 4$  °С, а погрешности осадков — в пределах от -40 до +80 %. Подобные показатели являются существенным повышением точности по сравнению с оценками МОЦАО в ВДО.

Благодаря разработке моделей общей циркуляции атмосферы (МОЦА) с высокой/переменной разрешающей способностью в период после ВДО, как правило видно, что по мере

повышения разрешающей способности улучшается динамика и крупномасштабный поток в моделях. В некоторых случаях, однако, систематические ошибки усилились по сравнению с моделями с более грубой разрешающей способностью, хотя были документально зарегистрированы лишь весьма немногочисленные результаты.

После ВДО значительно усовершенствованы МРЦ с высокой разрешающей способностью. Региональные модели последовательно повышают пространственную подробность моделируемого климата по сравнению с МОЦАО. МРЦ, определяемые наблюдаемыми пограничными условиями, характеризуются температурными смещениями усредненного района (региональные масштабы  $10^5$ — $10^6$  км<sup>2</sup>), как правило ниже 2 °С, в то время как погрешности осадков составляют менее 50 %. Районирование в более мелком масштабе показывает, что изменения могут существенным образом отличаться по величине или знаку от результатов для обширного усредненного района. Между моделями существует относительно крупный разброс, хотя четкого объяснения причины этих различий не существует.

### D.4 Общая оценка способностей

Со времени ВДО наблюдалось значительное развитие и усовершенствование совмещенных моделей. В целом они обеспечивают достоверные имитации климата, как минимум вниз по субконтинентальной шкале, и в пределах временных масштабов от сезонных до десятилетних. Совмещенные модели как группа рассматриваются в качестве подходящих средств для обеспечения полезных перспективных оценок будущего климата. Эти модели не могут пока имитировать все аспекты климата (например, они не могут до сих пор полностью объяснить наблюдаемую с 1979 г. тенденцию разницы температуры поверхность—тропосфера). Облака и влажность также остаются источниками существенной неопределенности, однако произошло значительное улучшение в имитациях количественных показателей этих явлений. Ни одна из моделей не может считаться «наилучшей», и важно использовать результаты целого ряда тщательно оцененных совмещенных моделей, с тем чтобы исследовать последствия различных формулировок. Логическое обоснование повышенной достоверности данных моделей связано с функционированием моделей в следующих областях.

#### Корректировка потока

Общая достоверность модельных перспективных оценок повышается в результате более четкого функционирования нескольких моделей, которые не используют корректировки потока. Эти модели поддерживают в настоящее время стабильные, многовековые имитации приземного климата, которые характеризуются, как считается, достаточным качеством для того, чтобы допускать их использование для перспективных оценок

изменения климата. Изменения, благодаря которым многие модели могут функционировать в настоящее время без корректировки потока, объясняются повышением качества как атмосферных, так и океанических компонентов. В модели первостепенное значение имеют: атмосфера, улучшения в конвекции, пограничный слой, облака и скрытые поверхностные потоки тепла. В модели океана к числу этих усовершенствований относятся: разрешающая способность, перемешивание пограничного слоя и представление вихревых процессов. Имеется значительное совпадение результатов, полученных при помощи исследований изменения климата посредством моделей с корректировкой потока и без нее; тем не менее разработка стабильных моделей без корректировки потока повышает достоверность их способности моделировать будущий климат.

### Климат в XX веке

Уверенность в способности моделей прогнозировать будущий климат повышается благодаря способности нескольких моделей воспроизводить тенденции потепления температуры приземного воздуха в XX веке, когда этот процесс находится под воздействием повышающейся концентрации парниковых газов и сульфатных аэрозолей. Это показано на рисунке TP-13. В то же время использовались лишь идеализированные сценарии сульфатных аэрозолей, и в модели нельзя включать факторы некоторых дополнительных процессов и воздействий. Некоторые исследования на основе моделей показывают, что включение дополнительных воздействий, таких, как изменчивость солнечной энергии и вулканические аэрозоли, могут улучшить некоторые аспекты имитированной изменчивости климата XX века.

### Экстремальные явления

Анализ и достоверность экстремальных явлений, которые имитируются в рамках моделей климата, еще только появляются, особенно для траекторий и частоты штормов. При помощи моделей климата имитируются вихри скорости «подобно тропическим циклоническим», хотя остается достаточная неясность в отношении их толкования для того, чтобы оправдывать осторожное отношение к перспективным оценкам изменений тропических циклонов. В то же время, в целом недостаточной разработанностью характеризуется анализ экстремальных явлений как посредством наблюдения (см. раздел В.6), так и сопряженных моделей.

### Межгодовая изменчивость

Повысилась точность имитации ЭНСО при помощи совмещенных моделей; в то же время его изменчивость перемещается в западном направлении, а его сила, как правило, недооценивается. В том случае, когда изначально должным образом использовались данные о приземном ветре и подповерхностном состоянии океана, некоторые сопряженные модели характеризовались определенной степенью успеха в предсказании событий ЭНСО.

### Взаимные сравнения моделей

Проведение все более частых систематических взаимных сравнений моделей дает основные подтверждения растущих возможностей климатических моделей. Например, Проект по сравнению совмещенных моделей (ПССМ) позволяет провести более всеобъемлющую систематическую оценку и взаимные сравнения прогноза совмещенных моделей, прогон которых был сделан в стандартизированной конфигурации, а также реагирования на стандартизованное воздействие. В настоящее время добились определенного количественного выражения повышения эффективности работы совмещенных моделей. Проект по модельному сравнению палеоклиматических данных (ПМСПД) обеспечивает проведение сравнений моделей для среднего голоцена (6 000 лет тому назад) и последнего ледникового максимума (21 000 лет тому назад). Способность этих моделей имитировать определенные аспекты палеоклимата, сопоставляемых с рядом косвенных палеоклиматических данных, придает достоверность моделям (по крайней мере для атмосферного компонента) в целом диапазоне различных воздействий.

### Е. Обнаружение влияния деятельности человека на изменение климата

В разделах В и С давалась характеристика наблюдаемых прошлых изменений климата и факторов воздействия соответственно. В разделе D рассматривались возможности климатических моделей по предсказанию реагирования климатической системы на подобные изменения воздействия. Данный раздел использует эту информацию для рассмотрения вопроса о возможности определения влияния деятельности человека на изменение климата в настоящее время.



**Рисунок TP-13.** Наблюдаемые и моделируемые глобальные среднегодовые аномалии температуры (°C) относительно средних значений наблюдений за период с 1900 г. по 1930 г. Контрольное и три независимых моделирования с использованием одного и того же фактора воздействия парникового газа плюс аэрозольные воздействия, а также несколько иных исходных условий, показаны на основе МОЦАО. Три моделирования воздействия парникового газа плюс аэрозоли обозначены соответственно словами «прогон 1», «прогон 2» и «прогон 3». [На основе рисунка 8.15]

Рассмотрение этого вопроса имеет важное значение. В ВДО был сделан вывод о том, что «в итоге доказательства свидетельствуют о том, что имеется существенное влияние человека на глобальный климат». В нем отмечалось, что обнаружение и объяснение проявлений изменения климата антропогенного происхождения будет сопровождаться постепенным сбором доказательств. В ВДО также отмечались неопределенности в ряде факторов, включая внутреннюю изменчивость, величину и модели воздействия и реагирования, которые помешали сделать более решительный вывод.

### **E.1 Значение обнаружения и объяснения**

**Обнаружение** — это процесс демонстрации того, что наблюдаемое изменение существенно отличается (в статистическом смысле) от того изменения, которое можно объяснить естественной изменчивостью. **Объяснение** — это процесс установления причины и последствия с некоторым определенным уровнем достоверности, включая оценку конкурирующих гипотез. Реагирование на антропогенные изменения в климатическом воздействии происходит на фоне естественной внутренней и вынужденной внешней изменчивости климата. Внутренняя изменчивость климата, т. е. изменчивость климата, не вызванная внешними факторами, происходит во всех временных масштабах от недель до столетий и даже тысячелетий. Медленные климатические компоненты, такие, как океан, имеют особенно важную роль в десятилетних и столетних временных масштабах, поскольку они интегрируют изменчивость погоды. Таким образом, климат способен демонстрировать длительные во временном масштабе колебания значительной величины без внешних воздействий. Колебания климата, вызванные внешним воздействием (проявления), могут объясняться изменениями в естественных факторах воздействия, таких, как солнечная радиация или вулканические аэрозоли, или изменениями в антропогенных факторах воздействия, таких, как увеличивающиеся концентрации парниковых газов или аэрозоли. Наличие этой естественной изменчивости климата означает, что обнаружение и объяснение антропогенного изменения климата является статистической проблемой «реагирования на шум». Исследования в целях обнаружения показывают, является ли наблюдаемое изменение весьма необычным в статистическом смысле, однако это не обязательно подразумевает, что мы понимаем его причины. **Объяснение** изменения климата антропогенными причинами связано со статистическим анализом и тщательной оценкой многочисленных линий доказательств, с тем чтобы показать в рамках заранее определенного предела ошибки, что наблюдаемые изменения:

- вряд ли объясняются полностью внутренней изменчивостью;
- соответствуют оценочному реагированию на данное сочетание антропогенного и естественного воздействия;
- не соответствуют альтернативным, физически допустимым объяснениям последнего изменения климата,

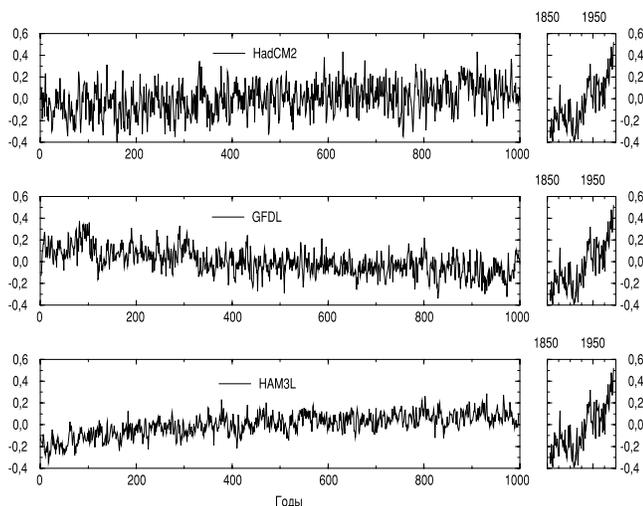
которые исключают важные элементы данной комбинации воздействий.

### **E.2 Более продолжительная и более тщательная проверка зарегистрированных данных наблюдений**

*Три из последних пяти лет (1995 г., 1997 г. и 1998 г.) были самыми теплыми в глобальном масштабе годами приборной регистрации.* Была подготовлена оценка воздействия ошибок выборочной совокупности наблюдательных данных применительно к регистрации средней температуры в глобальном масштабе и в масштабе полушария. Существует также лучшее понимание ошибок и неопределенностей в спутниковой регистрации температуры (Microwave Sounding Unit, MSU). Расхождения между MSU и данными радиозондов были в значительной мере урегулированы, хотя полностью невозможно объяснить наблюдаемую тенденцию различия между приземной и нижней тропосферной температурами (см. раздел В). Новые восстановления данных о температуре за последние 1 000 лет показывают, что изменение температуры за последние сто лет вряд ли полностью были естественными по своему происхождению, даже если учитывать значительные неопределенности в восстановлении исторической ситуации (см. раздел В).

### **E.3 Новые модельные оценки внутренней изменчивости**

*Весьма маловероятно, что потепление за последние 100 лет было вызвано только внутренней изменчивостью, как это показывали оценки при помощи существующих моделей.* Приборная регистрация проводится недавно и охватывает период воздействия деятельности человека, а регистрация исторических данных включает колебания под воздействием естественных факторов, таких, как колебания, вызванные изменениями в солнечной радиации и в частоте крупных вулканических извержений. Подобные ограничения оставляют немногие альтернативы для использования длительных «контрольных» имитаций с совмещенными моделями с целью подготовки оценки изменчивости климата в результате внутреннего воздействия. Со времени ВДО использовалось большее количество моделей для оценки величины изменчивости климата в результате внутренних факторов, выборочная совокупность которых приводится на рисунке TP-14. Как можно видеть, эти модели характеризуются широким диапазоном внутренней изменчивости глобального масштаба. Оценки более длительной временной изменчивости, связанные с исследованиями по обнаружению и определению, являются неопределенными, однако в межгодовом и десятилетнем временном масштабе некоторые модели показывают аналогичную или большую изменчивость по сравнению с наблюдаемой, даже если модели не включают изменчивость в результате внешних источников. Выводы в отношении выявления антропогенного проявления не затрагивают модели, использованной для оценки внутренней изменчивости, и последние изменения не могут быть



**Рисунок TP-14.** Аномалии средней глобальной температуры приземного воздуха, полученные посредством контрольных имитаций за 1000-летний период при помощи трех различных моделей климата — Hadley, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory и Hamburg — в сопоставлении с недавней приборной регистрацией. Ни одна из модельных контрольных имитаций не показывает тенденцию приземной температуры воздуха столь же обширную, что и наблюдаемая тенденция. Если внутренняя изменчивость является правильной в этих моделях, недавнее потепление не объясняется, вероятно, изменчивостью, вызванной только в рамках климатической системы. [На основе рисунка 12.1]

объяснены чисто внутренней изменчивостью, даже если величина имитируемых внутренних колебаний увеличивается в два раза и, возможно, более того. Самые последние исследования по обнаружению и объяснению не дают никаких свидетельств в отношении того, что оцененная при помощи модели внутренняя изменчивость на поверхности является несовместимой с остаточной изменчивостью, которая сохраняется в наблюдениях после исключения оценочных антропогенных проявлений в крупных пространственных и длительных временных масштабах, использованных в исследованиях по выявлению и объяснению. Отметим однако, что способность выявлять несоответствия является ограниченной. Как показано на рисунке TP-14, ни одна из контрольных модельных имитаций не показывает тенденцию приземной температуры воздуха такого же размера, что и тенденция, наблюдаемая за последние 1 000 лет.

#### Е.4 Новые оценки реакций на естественное воздействие

Оценки, основанные на физических принципах и модельных имитациях, показывают, что одно лишь естественное воздействие вряд ли объясняет нынешнее наблюдаемое глобальное потепление или наблюдаемые изменения в структуре вертикальной температуры и атмосферы. В полностью совмещенных моделях системы океан-атмосфера применялся способ восстановления солнечного и вулканического воздействий за последние 100—300 лет в целях оценки того вклада, который естественное воздействие вносит в изменчивость и изменение климата. Хотя восстановление естественных воздействий носит неопределенный характер, включая их последствия, оно позволяет увеличить дисперсию в более длительных (многие десятилетия) временных масштабах.

Благодаря этому низкочастотная изменчивость становится ближе к изменчивости, которая выводится посредством перестраивания исторических данных. Существует вероятность того, что чистое естественное воздействие (т. е. солнечное плюс вулканическое) носило негативный характер за последние два десятилетия и, возможно, даже за последние четыре десятилетия. Статистические оценки подтверждают, что моделированная естественная изменчивость как с учетом внутренних, так и естественных воздействий, вряд ли объясняет то потепление, которое произошло во второй половине XX века (см. рисунок TP-15). В то же время существует доказательство поддающегося обнаружению влияния вулканической деятельности на климат, а также доказательство, которое показывает на поддающееся обнаружению влияние солнечной энергии, особенно в первой половине XX века. Даже если эти модели недооценивают величину реагирования на солнечное или вулканическое воздействие, характер пространственных и временных моделей не позволяет объяснить наблюдаемые изменения температуры в течение XX века лишь посредством только этих воздействий.

#### Е.5 Чувствительность к оценкам проявлений изменения климата

Имеется широкий спектр доказательств качественных соответствий между наблюдаемыми изменениями климата и модельными реакциями на антропогенное воздействие. Модели и данные наблюдений показывают: повышение глобальной температуры, усиление контраста температуры суша-океан, сокращение протяженности морского льда, отступление ледников и усиление осадков в высоких широтах северного полушария. Некоторые качественные несоответствия сохраняются, включая тот факт, что модели предсказывают более быстрые темпы потепления в средней и верхней тропосфере по сравнению с теми, которые наблюдаются в ходе регистрации тропосферной температуры при помощи либо спутников, либо радиозондов.

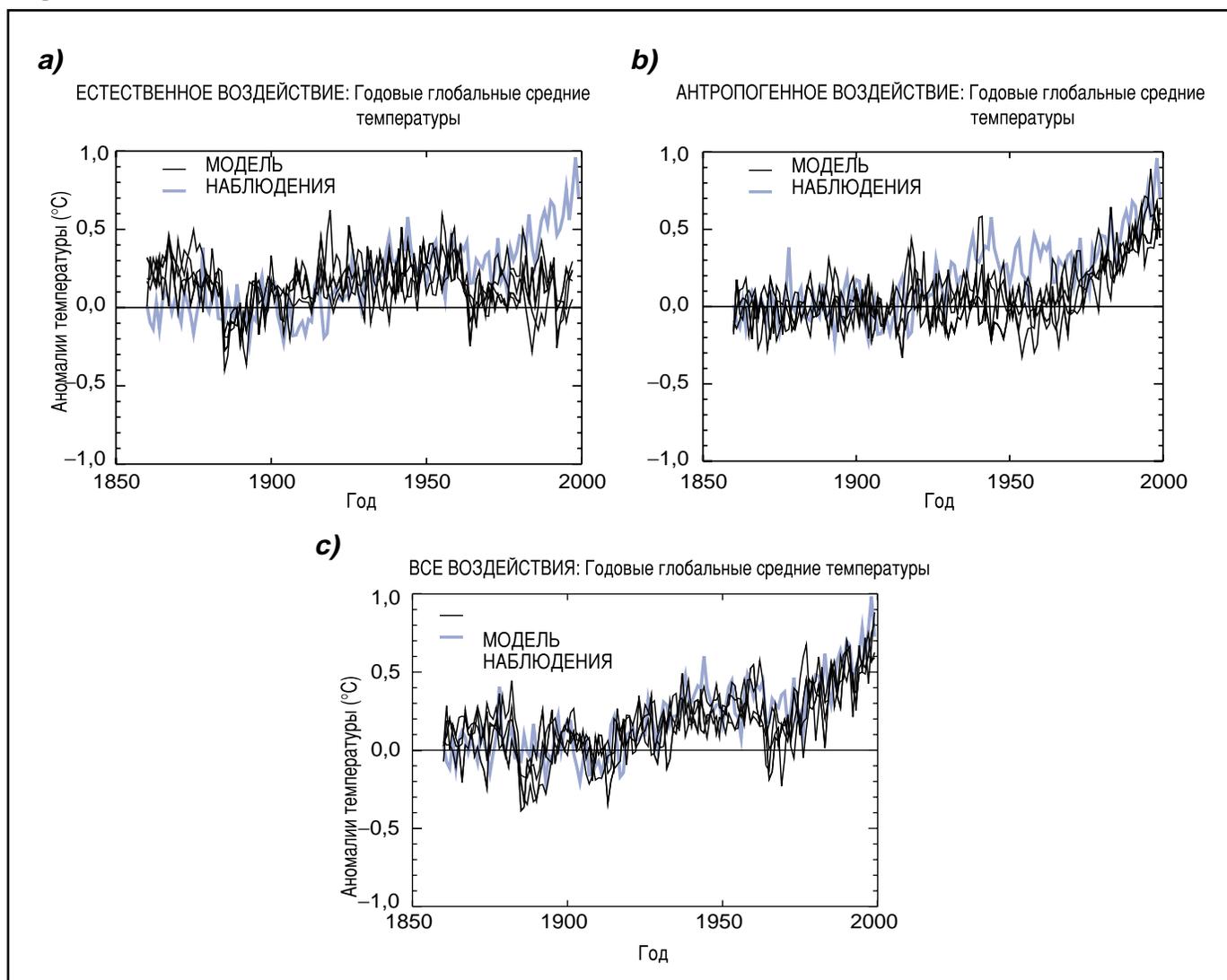
Все виды моделирования с парниковыми газами и сульфатными аэрозолями, которые применялись в ходе исследований по выявлению изменений, показали, что для объяснения тенденций в поверхностном и тропосферном слоях в течение как минимум последних 30 лет требуется наличие существенного компонента в виде деятельности антропогенного происхождения. Со времени ВДО имеется большее количество имитаций с увеличением концентраций парниковых газов и определенное представление аэрозольных воздействий. Несколько исследований включали подробные представления парниковых газов (в отличие от эквивалентного увеличения концентраций  $\text{CO}_2$ ). Некоторые из них включали также: изменения тропосферного озона, интерактивный цикл серы, режим явного радиационного воздействия на рассеивание сульфатных аэрозолей и более совершенную оценку изменений стратосферного озона. В целом в то время как обнаружение климатического реагирования на эти иные антропогенные факторы часто носит перспективный характер, обнаружение

влияния парниковых газов на изменения приземной температуры за последние 50 лет носит четкий характер. В некоторых случаях осуществлялся прогон ансамблей и моделей, с тем чтобы уменьшить погрешности в оценках временного реагирования. В некоторых исследованиях была проведена оценка сезонного колебания данной реакции. Наличие неопределенностей в оцениваемых проявлениях изменения климата затруднили объяснение наблюдаемого изменения климата одной конкретной комбинацией антропогенных и естественных воздействий, однако все

исследования показали, что требуется наличие существенного антропогенного вклада для того, чтобы объяснить поверхностные тропосферные тенденции как минимум за последние 30 лет.

### Е.6 Более широкий диапазон методов обнаружения Температуры

Благодаря использованию значительно более широкого диапазона методов обнаружения получено доказательство антропогенного влияния на климат. Одним из крупных



**Рисунок TP-15.** Аномалии средней глобальной приземной температуры относительно среднего значения периода 1880—1920 гг., взятые из приборной регистрации, в сравнении с ансамблями четырех имитаций при помощи совмещенной модели климата системы океан-атмосфера в случае: а) только солнечного и вулканического воздействия; б) антропогенного воздействия, включая: хорошо перемешанные парниковые газы, изменения стратосферного и тропосферного озона и прямые и косвенные воздействия сульфатных аэрозолей; и (с) всех видов воздействия как естественных, так и антропогенных. Толстой линией показаны приборные данные, а тонкие линии показывают имитации отдельной модели для ансамбля из четырех элементов. Отметим, что эти данные представляют собой среднегодовые величины. Выборка модельных данных сделана только в тех местах, где проводятся наблюдения. Изменения сульфатных аэрозолей рассчитаны интерактивно, а изменения тропосферного озона рассчитаны нелинейно с использованием моделей переноса химических веществ. Изменения в яркости облаков (первое косвенное последствие сульфатных аэрозолей) были рассчитаны при помощи нелинейной имитации и включены в данную модель. Изменения стратосферного озона основаны на данных наблюдений. Вулканическое и солнечное воздействия основаны на опубликованных комбинациях измеренных и косвенных данных. Чисто антропогенное воздействие в 1990 г. составляло  $1,0 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , включая чистое охлаждение  $1,0 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , вызванное сульфатными аэрозолями. Чистое естественное воздействие в 1990 г. по сравнению с 1860 г. составляло  $0,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , а чистое охлаждение в 1992 г. —  $2,0 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , что было вызвано воздействием горы Пинатубо. Другие модели антропогенного воздействия дают результаты, аналогичные результатам, показанным в б). [На основе рисунка 12.7]

достижений после ВДО является расширение диапазона применяемых методов и оценка того, в какой степени результаты являются независимыми от предположений, которые делались в ходе применения указанных методов. Проводились исследования с использованием модельных корреляций, исследования оптимального обнаружения с использованием одной или более фиксированных моделей и моделей переменных временных величин, а также целого ряда других методов. Благодаря увеличению количества исследований, широте применяемых методов, большей точности в оценке роли антропогенного воздействия на климат, а также четкости результатов в отношении предположений, сделанных на основе использования этих методов, повысилась достоверность этих аспектов обнаружения и объяснения.

*Результаты характеризуются чувствительностью к диапазону рассматриваемых временных и пространственных масштабов.* Для того чтобы отделить вынужденные проявления от внутренней изменчивости, необходимы данные за несколько десятилетий. Идеализированные исследования показали, что изменения приземной температуры поддаются обнаружению только в масштабах порядка 5 000 км. Подобные исследования свидетельствуют о том, что уровень выявленной согласованности между данными имитации и наблюдений в исследованиях модельной корреляции близок к тому, который будет ожидаться в теории.

Большинство исследований с целью объяснения явлений показывают, что за последние 50 лет оценочные темпы и величина глобального потепления вследствие только повышения концентрации парниковых газов сопоставимы или превышают наблюдаемое потепление. В ходе исследований с целью определения явлений рассматривается вопрос о том, «совпадает ли с данными наблюдений величина моделированного реагирования на конкретный агент воздействия». Использование методов, учитывающих многосторонние проявления, позволило проводить исследования, в которых проводится разграничение между воздействиями на климат различных факторов. Включение временной зависимости проявлений дало возможность провести различия между естественными и антропогенными воздействиями. По мере введения большего количества моделей реагирования неизбежно возникает проблема вырождения (различные комбинации моделей, дающие почти идентичные соответствия данным наблюдений). Тем не менее даже при включении в анализ всех основных реакций явно определяемым остается проявление воздействия парникового газа. Кроме того, большинство модельных оценок, учитывающих как парниковые газы, так и сульфатные аэрозоли, совпадает с данными наблюдений за этот период. Наибольшая согласованность между модельными имитациями и наблюдениями за последние 140 лет имеет место в тех случаях, когда учитываются как антропогенные, так и естественные факторы (см. рисунок TP-15). Эти результаты показывают, что включенных воздействий достаточно для того, чтобы объяснить наблюдаемые изменения, однако

это не исключает возможности того, что другие воздействия также внесли свой вклад. В целом выясняется, что величина реагирования температуры на повышение концентраций парниковых газов соответствует наблюдениям в пределах рассмотренных масштабов (см. рисунок TP-16), однако сохраняются несоответствия между моделированной и наблюдаемой реакцией на другие естественные и антропогенные факторы.

*Неопределенности в других воздействиях, которые были включены, не мешают идентификации последствий антропогенных парниковых газов в течение последних 50 лет.* Сульфатное воздействие, хотя и остается неопределенным, является негативным в течение данного периода. Изменения естественного воздействия в течение большей части этого периода также оцениваются в качестве негативных. В этой связи обнаружение влияния антропогенных парниковых газов не может быть исключено либо вследствие неопределенности воздействия сульфатных аэрозолей или из-за того, что естественное воздействие не было включено во все модели имитаций. Те исследования, в которых выделяются отдельные реакции на парниковый газ, сульфатный аэрозоль и естественное воздействие, дают неопределенные оценки амплитуды проявлений сульфатных аэрозолей и естественных проявлений, однако тем не менее почти все исследования способны выявить присутствие проявления антропогенного парникового газа в последней регистрации данных о состоянии климата.

*Используемые методы обнаружения и объяснения не должны характеризоваться чувствительностью к ошибкам в амплитуде среднего глобального реагирования на индивидуальные воздействия.* В методах оценки проявления, использованных в этом докладе, амплитуда проявления оценивается на основе наблюдений, а не на амплитуде моделированного реагирования. Таким образом, эти оценки не зависят от факторов, определяющих моделированную амплитуду реагирования, таких, как климатическая чувствительность использованной модели. Кроме того, если проявление, вызванное данным воздействием, оценивается в индивидуальном порядке, амплитуда в значительной степени является независимой от величины воздействия, использованного для того чтобы вызвать реакцию. Неопределенность амплитуды солнечного воздействия и косвенного воздействия сульфатных аэрозолей не должна влиять на величину оценочного проявления.

### Уровень моря

*Вполне вероятно, что потепление в XX веке в значительной мере способствовало наблюдаемому подъему уровня моря в результате теплового расширения морской воды и крупномасштабной потери материкового льда.* В рамках существующих неопределенностей как данные наблюдений, так и модели, соответствуют тому, что в течение XX века не происходило существенного ускорения подъема уровня моря.

### **E.7 Остающиеся неопределенности в обнаружении и объяснении**

Определенный прогресс достигнут в уменьшении неопределенности, хотя до сих пор существуют многие из источников неопределенности, идентифицированные в ВДО. К их числу относятся:

- *Расхождения между изменением вертикального профиля температуры в тропосфере, отмечаемые в ходе наблюдений и при прогоне моделей.* Эти расхождения были уменьшены благодаря использованию в моделях более реалистичных изменений воздействий по времени, хотя они полностью не разрешены. Кроме того, в модельных имитациях невозможно полностью воспроизвести различия между наблюдаемыми за последние два десятилетия тенденциями, касающимися приземного и нижнего тропосферного слоев.
- *Значительные неопределенности в оценках внутренней изменчивости климата на основе моделей и наблюдений.* Хотя, как отмечалось выше, маловероятно, что эти неопределенности (весьма маловероятно, что пограничные совпадения этих неопределенностей) будут достаточно большими для того, чтобы сделать недействительным заявление о том, что имело место поддающееся обнаружению изменение климата.
- *Значительная неопределенность в восстановлении солнечного и вулканического воздействия, основанного на косвенных или ограниченных данных наблюдений за все десятилетия, за исключением двух последних.* Обнаружение влияния парниковых газов на климат представляется достаточно очевидным для возможного усиления солнечного воздействия в результате взаимодействий между факторами озона-солнечного излучения или солнечного излучения-облаков, при условии, что эти факторы не меняют модели или временной зависимости реагирования на солнечное воздействие. По-прежнему предположительным остается то, в какой мере проявление солнечного фактора усиливается в результате этих процессов, которые до сих пор не включаются в модели.
- *Значительные неопределенности антропогенного воздействия, связанные с последствиями аэрозолей.* Эти последствия некоторых антропогенных факторов, включая образование органического углерода, углерода в чистом виде, аэрозолей биомассы и изменения в землепользовании, еще не включены в исследования по обнаружению и объяснению. Оценки размера и географической структуры последствий этих воздействий колеблются в значительных пределах, хотя в индивидуальном плане их глобальные последствия оцениваются как относительно небольшие.
- *Значительные различия в реагировании различных моделей на одно и то же воздействие.* Эти различия, которые

нередко превышают различия в реагировании в рамках одной и той же модели с аэрозольными последствиями или без них, отражают значительные неопределенности в предсказании изменения климата и необходимость количественного определения неопределенности и ее снижения посредством повышения точности наборов данных наблюдений и совершенствования моделей.

### **E.8 Резюме**

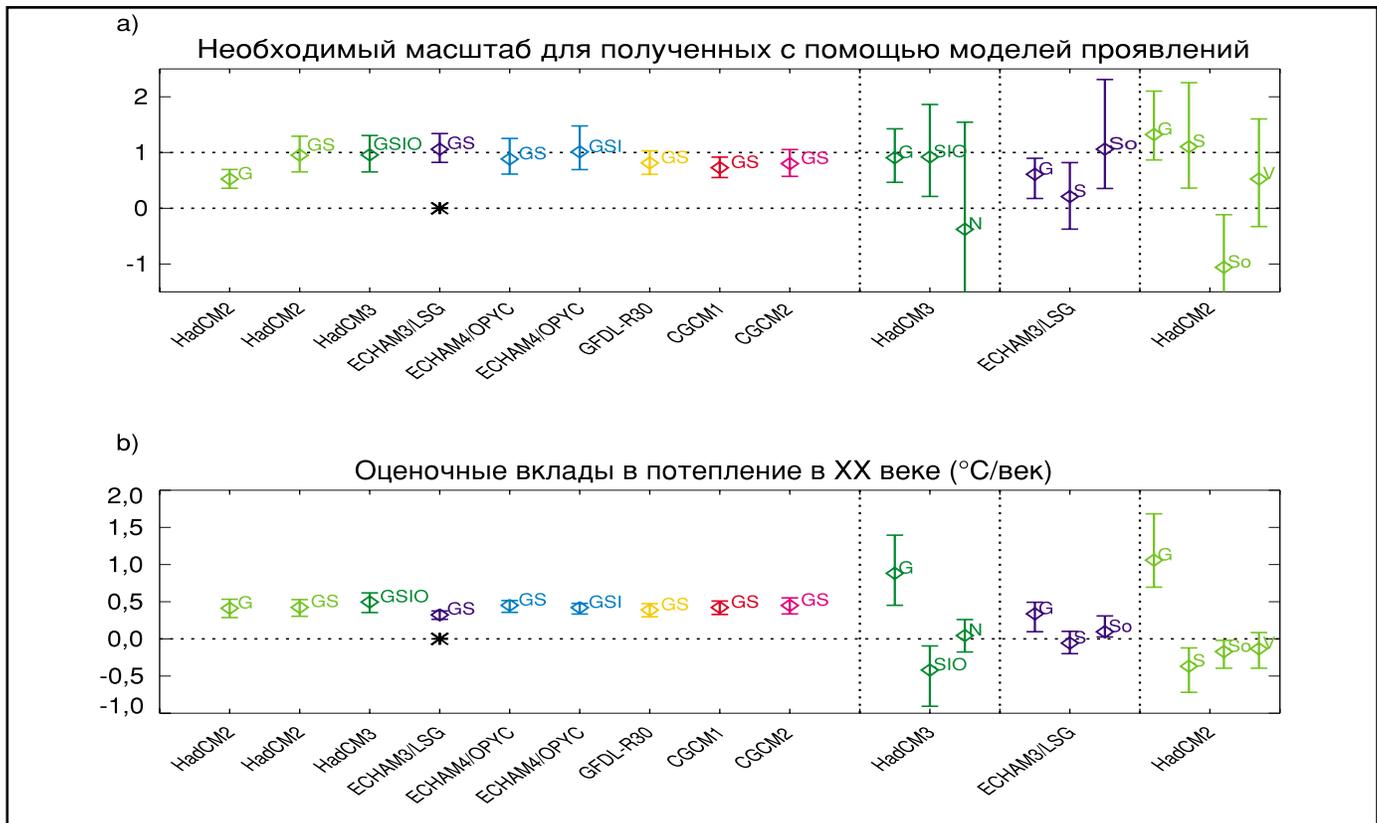
*В свете новых доказательств и с учетом оставшихся неопределенностей большая часть наблюдаемого за последние 50 лет потепления объясняется, вероятно, повышением концентраций парниковых газов.*

## **F. Перспективные оценки будущего климата Земли**

Климатические модели используются вместе с будущими сценариями агентов воздействия (например парниковые газы и аэрозоли) в качестве исходных элементов для создания набора прогнозируемых изменений будущего климата, который иллюстрирует те возможности, которые могут быть предоставлены в будущем. В разделе F.1 дается описание будущих сценариев агентов воздействия, описанных в Специальном докладе МГЭИК о сценариях выбросов (СДСВ), на которых по мере возможности основаны представленные будущие изменения. В разделах F.2—F.9 представлены итоговые перспективные оценки изменений будущего климата. И наконец, в разделе F.10 представлены результаты будущих перспективных оценок, основанных на сценариях будущего, когда будут стабилизированы концентрации парниковых газов.

### **F.1 Специальный доклад МГЭИК о сценариях выбросов (СДСВ)**

В 1996 г. МГЭИК начала разработку нового набора сценариев выбросов, с тем чтобы должным образом обновить и заменить хорошо известные сценарии IS92. Одобренный новый набор сценариев описан в Специальном докладе МГЭИК о сценариях выбросов (СДСВ). Были разработаны четыре различные тематические сюжетные линии для последовательного описания взаимосвязей между факторами, вызывающими выбросы, и их эволюции, а также добавления контекста для сценарных количественных определений. Итоговый набор из 40 сценариев (35 из которых содержат данные о полном диапазоне газов, необходимых для воздействия на климатические модели) охватывает широкий спектр основных демографических, экономических и технологических определяющих факторов будущих выбросов парниковых газов и серы. Каждый сценарий представляет конкретное количественное определение одной из четырех сюжетных линий. Все сценарии, основанные на одной и той же сюжетной линии, образуют сценарную «семью» (см. текстовой блок TP-5, в котором дается



**Рисунок TP-16.** а) Оценки «коэффициентов масштаба», на которые необходимо умножить амплитуду нескольких полученных с помощью модели проявлений, с тем чтобы получить соответствующие изменения в наблюдаемой регистрации данных. Вертикальные линии обозначают диапазон неопределенности 5—95 % вследствие внутренней изменчивости. Предел, выходящий за рамки единицы измерения, означает, что данная комбинация амплитуды воздействия и реагирования, определенного посредством моделирования, совпадает с соответствующим наблюдаемым изменением, в то время как превышение нулевого показателя означает, что это проявление, полученное посредством моделирования, не поддается обнаружению. Проявления определяются в качестве ансамбля усредненного реагирования на внешние воздействия, выраженного в широком масштабе (>5 000 км) приземных температур в период 1946—1996 гг. по отношению к среднему показателю периода 1896—1996 гг. Первый табличный компонент (G) показывает коэффициент масштаба и интервал достоверности 5—95 %, полученный исходя из предположения о том, что данные наблюдений включают только реагирование на парниковые газы плюс внутреннюю изменчивость. Данный предел значительно меньше единицы (совпадает с результатами других моделей), что означает, что модели, учитывающие только воздействие парниковых газов, характеризуются существенным чрезмерным предсказанием наблюдаемого проявления потепления. Последующие восемь исходных элементов показывают коэффициенты масштаба для полученной при помощи моделей реакции на воздействие парникового газа и серы (GS), при этом в двух случаях включено косвенное воздействие серы и тропосферного озона, а в одном из них учитывается также истощение стратосферного озона (GSI и GSIO соответственно). Лишь один из этих пределов (CGCM1) соответствует единице измерения. Таким образом, имеется мало доказательств того, что модельные предсказания систематически переоценивают или недооценивают амплитуду наблюдаемого реагирования на основе предположения о том, что моделируемые проявления GS и внутренняя изменчивость являются адекватным представлением (т. е. что естественное воздействие оказывает малое чистое влияние на эту диагностику). Наблюдаемая остаточная изменчивость совпадает с этим предположением во всех случаях, кроме одного (ECHAM3, показано звездочкой). Подобное предположение необходимо делать для включения моделей, для которых имеется лишь имитация антропогенного реагирования, однако оценки неопределенности в этих случаях единого проявления являются неполными, поскольку они не учитывают неопределенности в естественно вызванной реакции. Эти пределы показывают, однако, высокий уровень достоверности, с которой внутренняя изменчивость, которая имитируется при помощи этих различных моделей, может быть исключена как объяснение недавнего изменения приземной температуры. Более полный анализ неопределенности дается при помощи следующих трех элементов, которые показывают соответствующие коэффициенты масштаба для отдельных проявлений парниковых газов (G), серы (S), солнечного плюс вулканического воздействия (N), только солнечного (So) и только вулканического (V) для тех случаев, когда проводилось соответствующее моделирование. В этих случаях, согласно оценкам, многосторонние факторы одновременно объясняют неопределенность в амплитуде естественно вызванной реакции. Неопределенности увеличиваются, однако проявление парникового газа остается последовательно поддающимся обнаружению. В одном случае (ECHAM3) модель по-видимому переоценивает реагирование на парниковый газ (предел масштаба при проявлении G не совпадает с единицей измерения), однако этот результат зависит от того, какой компонент контроля применяется для определения пространства обнаружения. Неизвестно также, каким образом этот результат будет реагировать на включение проявления вулканического воздействия. В тех случаях, когда учитываются как солнечное, так и вулканическое воздействие (HadCM2 и HadCM3), проявления G и S по-прежнему поддаются обнаружению и соответствуют единице измерения независимо от того, оценивались ли естественные проявления совместно или отдельно друг от друга (допуская различные ошибки в реакциях S и V).

б) Оценочные вклады в среднее глобальное потепление в течение XX века основано на результатах, показанных в разделе (а), с интервалами достоверности 5—95 %. Хотя эти оценки колеблются в зависимости от того, какое проявление или воздействие предполагается в модели и являются менее определенными, если осуществляется оценка более одного проявления, все оценки показывают существенный вклад антропогенного изменения климата в потепление в XX веке. [На основе рисунка 12.12]

**Текстовый блок ТР-5. Сценарии выбросов Специального доклада о сценариях выбросов (СДСВ)**

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

**A2.** В сюжетной линии и сценарной семье A2 дается описание очень неоднородного мира. основополагающей темой является самообеспечение и сохранение местной самобытности. Показатели рождаемости в разных регионах очень медленно сближаются, результатом чего является постоянный рост общей численности населения. Экономическое развитие имеет главным образом региональную направленность, а экономический рост в

расчете на душу населения и технологические изменения являются более фрагментарными и медленными по сравнению с другими сюжетными линиями.

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

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

краткое описание основных характеристик четырех сюжетных линий и сценарных семей СДСВ). Сценарии СДСВ не включают дополнительные, связанные с климатом инициативы, что означает, что не включен ни один сценарий, который четким образом предполагает осуществление Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата или задач по выбросам Киотского протокола. В то же время, на выбросы парниковых газов непосредственно влияет политика неклиматических изменений, разработанная для широкого спектра других задач (например качество воздуха). Кроме того, правительственная политика может в различной степени влиять на факторы выброса парниковых газов, как-то: демографические изменения, социально-экономические события, технологические изменения, использование ресурсов и управление загрязнением. Это влияние нашло широкое отражение в сюжетных линиях и итоговых сценариях.

Поскольку СДСВ был утвержден только 15 марта 2000 г., было слишком поздно для специалистов в области моделирования включать окончательные утвержденные

сценарии в свои модели и получить результаты ко времени подготовки этого Третьего доклада об оценках. В то же время, проекты сценариев были выпущены для специалистов по моделированию климата заранее, с тем чтобы способствовать внесению ими вклада в Третий доклад об оценках в соответствии с решением, принятым бюро МГЭИК в 1998 г. В то время был выбран один сигнальный сценарий из каждой из четырех сценарных групп, основанных непосредственно на сюжетных линиях (A1B, A2, B1 и B2). Выбор сигнальных сценариев был основан на критерии того, какая из первоначальных количественных оценок наилучшим образом отражала сюжетную линию и характеристики конкретных моделей. Сигнальные сценарии ничем не отличаются от любых других сценариев, однако они рассматриваются в качестве иллюстрации конкретной сюжетной линии. Сценарии отбирались также с целью демонстрации двух других сценарных групп (A1F1 и A1T) в рамках семьи A1, которые конкретно рассматривали альтернативные события в области технологии, поддерживая постоянный характер других определяющих факторов. Таким образом, имеются иллюстративные сценарии для каждой из шести сценарных

групп, и все они в равной степени достоверны. Поскольку последние два показательных сценария были отобраны на позднем этапе процесса, для получения результатов моделирования МОЦАО, представленных в этом докладе, используются лишь два из четырех проектов сигнальных сценариев. В настоящее время только сценарии A2 и B2 были интегрированы более чем одной МОЦАО. Результаты МОЦАО были дополнены результатами из простых моделей климата, которые охватывают все шесть показательных сценариев. Сценарий IS92a также представлен в ряде случаев для обеспечения прямого сравнения с результатами, представленными в ВДО.

Окончательные четыре сигнальных сценария, содержащиеся в СДСВ, несколько отличаются от проектов сценариев, использованных для экспериментов МОЦАО, описанных в настоящем докладе. Для выяснения вероятного последствия различий в проектах и окончательных сценариях СДСВ каждый из четырех проектов и окончательных сигнальных сценариев были изучены с использованием простой климатической модели. Для трех из четырех сигнальных сценариев (A1B, A2 и B2) изменения температуры в проектах и сигнальных сценариях были весьма аналогичными. Изначальное различие заключается в изменении стандартизованных величин для периода 1990—2000 гг., что является обычным для всех этих сценариев. Результатом этого является более значительное воздействие в начале данного периода.

Имеются дальнейшие незначительные различия в чистом воздействии, однако они уменьшаются до тех пор, пока к 2100 г. различия в изменении температуры в двух вариантах этих сценариев находятся в пределах 1—2 %. Для сценария B1, однако, изменение температуры гораздо меньше в окончательном варианте, что приводит к различию в изменении температуры в 2100 г. почти на 20 % в результате, как правило, более низкого уровня выбросов в рамках полного диапазона парниковых газов.

Антропогенные выбросы трех основных парниковых газов —  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ , а также антропогенные выбросы двуокиси серы, показаны для шести иллюстративных сценариев СДСВ на рисунке TP-17. Очевидно, что эти сценарии охватывают широкий диапазон выбросов. Для сравнения выбросы показаны также для IS92a. Особенно примечательным являются гораздо более низкие будущие выбросы двуокиси серы для шести сценариев СДСВ по сравнению со сценариями IS92 вследствие структурных изменений в энергетической системе, а также озабоченности в отношении загрязнения воздуха на местном и региональном уровнях.

## 7.2 Перспективные оценки будущих изменений в концентрациях парниковых газов и аэрозолей

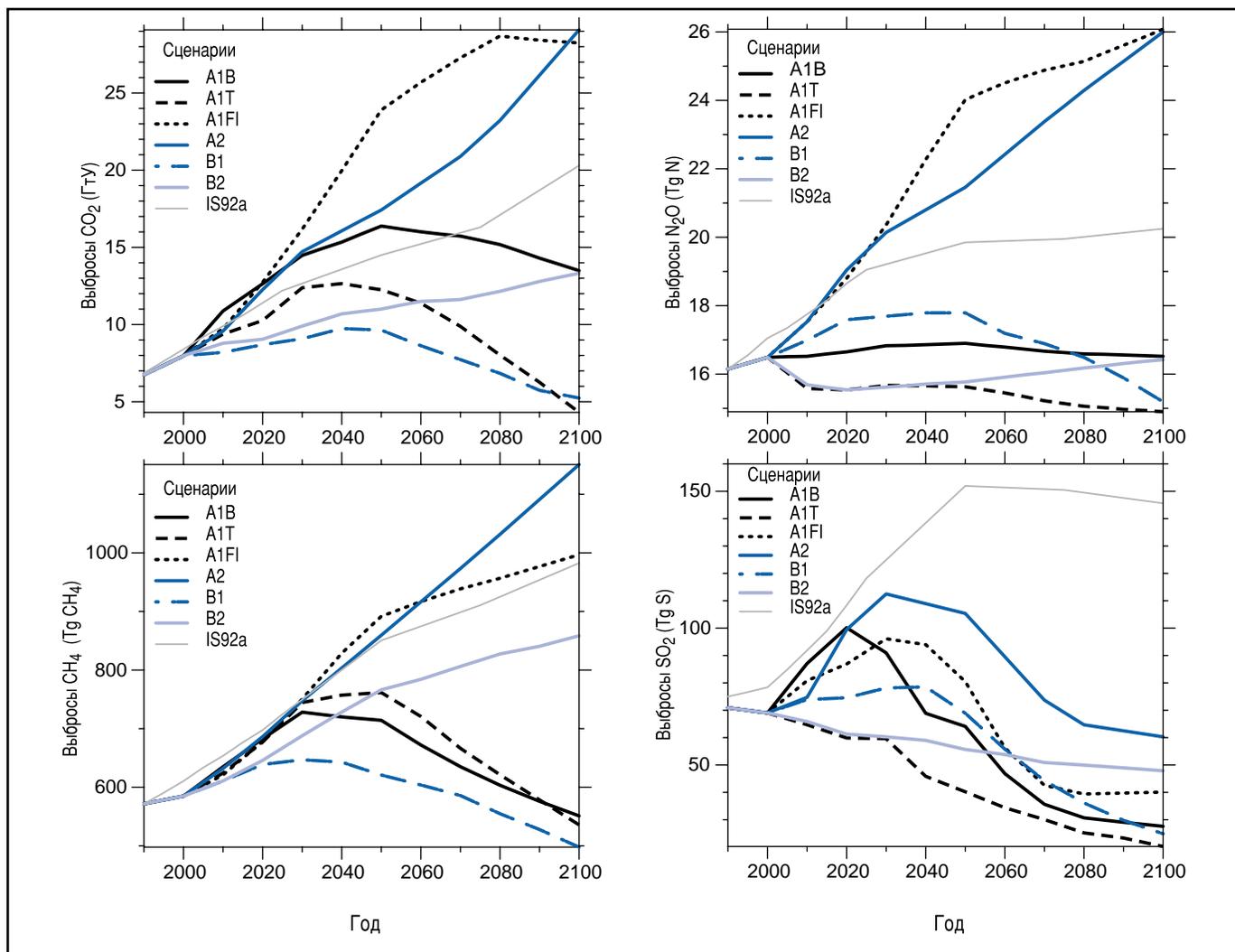
Модели показывают, что иллюстративные сценарии СДСВ ведут к весьма отличным траекториям концентрации

$\text{CO}_2$  (см. рисунок TP-18). К 2100 г. модели цикла углерода прогнозируют атмосферные концентрации  $\text{CO}_2$  в размере 540—970 млн<sup>-1</sup> для показательных сценариев СДСВ (на 90—250 % выше концентрации в 280 млн<sup>-1</sup> в 1750 г.). Чистый эффект климатических обратных связей суши и океана, как показано моделями, заключается в дальнейшем увеличении прогнозируемых атмосферных концентраций  $\text{CO}_2$  в результате уменьшения поглощения  $\text{CO}_2$  как океаном, так и сушей. Эти оценки включают климатические обратные связи суши и океана. Неопределенности, особенно в отношении величины климатической обратной связи со стороны земной биосферы, являются причиной вариации от приблизительно -10 до +30 % в каждом сценарии. Общий диапазон составляет 490—1260 млн<sup>-1</sup> (на 75—350 % выше концентрации 1750 г.).

*Меры, направленные на повышение запаса углерода в наземных экосистемах, могут повлиять на атмосферную концентрацию  $\text{CO}_2$ , однако верхний предел для уменьшения концентрации  $\text{CO}_2$  за счет подобных мер составляет 40—70 млн<sup>-1</sup>. Если можно было бы сохранить в земной биосфере в течение века (например посредством лесовозобновления) весь углерод, выброшенный в результате исторических изменений в землепользовании, концентрация  $\text{CO}_2$  снизилась бы на 40—70 млн<sup>-1</sup>. Таким образом, практически определенным является то, что выбросы  $\text{CO}_2$ , связанные с ископаемым топливом, сохраняют доминирующий контроль над тенденциями в атмосферной концентрации  $\text{CO}_2$  в течение этого столетия.*

*Модельные расчеты избытков в первую очередь парниковых газов, отличных от  $\text{CO}_2$ , к 2100 г. различаются существенным образом в шести показательных сценариях СДСВ. В целом A1B, A1T и B1 содержат самые маленькие увеличения, а A1F1 и A2 — самые большие. Изменения  $\text{CH}_4$  с 1998 г. по 2100 г. находятся в пределах от -190 до +1970 млрд<sup>-1</sup> (от -11 до +112 %), а увеличение  $\text{N}_2\text{O}$  — от +38 до +144 млрд<sup>-1</sup> (от +12 до +46 %) (см. рисунки TP-17b и c). Прогнозируется увеличение ПФУ  $\text{CF}_4$  до 200—400 трлн<sup>-1</sup>, а  $\text{SF}_6$  — до 35-65 трлн<sup>-1</sup>.*

*Для шести иллюстративных сценариев выбросов СДСВ прогнозируемые выбросы косвенных парниковых газов ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{VOC}$ ) наряду с изменениями в  $\text{CH}_4$  изменят, согласно оценкам, средний глобальный избыток тропосферного радикала гидроксила ( $\text{OH}$ ) на -20 — +6 % в течение следующего столетия. Вследствие важного значения  $\text{OH}$  для химии тропосферы сопоставимые изменения, но с противоположным знаком, наблюдаются в течение срока жизни в атмосфере парниковых газов  $\text{CH}_4$  и ПФУ. Это последствие в значительной мере зависит от величины выбросов  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  и баланса между ними. Изменения тропосферного  $\text{O}_3$  рассчитаны в период между 2000 г. и 2100 г. в пределах от -12 до +62 %. Наибольшее увеличение предсказывается в течение XXI века для сценариев A1F1 и A2, и оно будет почти в два раза больше, чем то, которое наблюдалось в период с доиндустриальной эры. Эти*



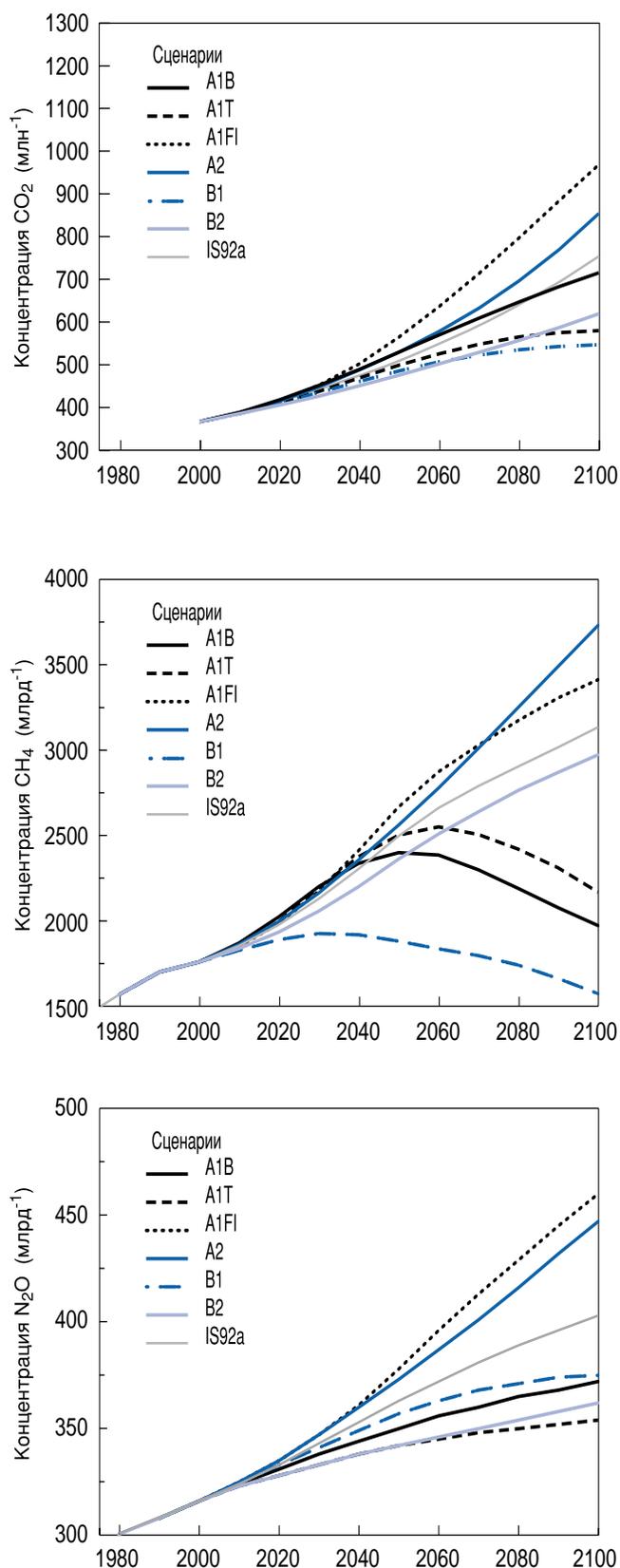
**Рисунок TP-17.** Антропогенные выбросы  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и двуокиси серы для шести показательных сценариев СДСВ — A1B, A2, B1 и B2, A1FI и A1T. Для сравнения показан также сценарий IS92a. [На основе Специального доклада МГЭИК о сценариях выбросов.]

увеличения  $\text{O}_2$  объясняются одновременными и значительными увеличениями выбросов антропогенных  $\text{NO}_x$  и  $\text{CH}_4$ .

Значительный рост выбросов парниковых газов и других загрязнителей, прогнозируемый в некоторых из шести показательных сценариев СДСВ на XXI век, приведет к деградации глобальной окружающей среды в результате воздействия, выходящих за пределы изменения климата. Изменения, прогнозируемые в сценариях A2 и A1FI СДСВ, приведут к деградации качества воздуха над большей частью планеты в результате повышения фоновых уровней тропосферного  $\text{O}_3$ . В северных умеренных широтах в летний период среднесезонное увеличение  $\text{O}_3$  рядом с поверхностью составляет порядка  $30 \text{ млрд}^{-1}$  или более, повышая фоновые уровни до почти  $80 \text{ млрд}^{-1}$ , угрожая достичь существующих норм качества воздуха над большей частью крупных городов и даже сельских районов, а также снижая продуктивность сельскохозяйственных и лесных культур. Эта проблема выходит за пределы континентальных границ и совмещает выбросы  $\text{NO}_x$  в масштабе полушария.

За исключением серы и углерода в чистом виде, модели показывают приблизительную линейную зависимость избытка аэрозолей от выбросов. Процессы, которые определяют показатель удаления для углерода в чистом виде, существенно различаются между моделями, что ведет к значительной неопределенности в будущих оценках чистого углерода. Выбросы естественных аэрозолей, таких, как морская соль, пыль и газовых предшественников аэрозолей, таких, как терпен, двуокись серы ( $\text{SO}_2$ ), а также окисление диметилсульфида, могут увеличиться в результате изменений климата и химии атмосферы.

Шесть показательных сценариев СДСВ охватывают почти весь диапазон воздействия, которое является результатом полного набора сценариев СДСВ. Общее оценочное антропогенное радиационное воздействие за исторический период с 1765 г. по 1990 г. с последующим воздействием, вытекающим из шести сценариев СДСВ, показаны на рисунке TP-19. Воздействие, вытекающее из ансамбля 35 сценариев СДСВ, показано на рисунке серым цветом, поскольку воздействия, вытекающие из



**Рисунок TP-18.** Атмосферные концентрации  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ , вытекающие из шести сценариев СДСВ и сценария IS92a, рассчитанных при помощи существующей методологии.

[На основе рисунков 3.12 и 4.14]

отдельных сценариев, пересекаются с линией времени. Прямое воздействие в результате образующихся от сжигания биомассы аэрозолей приведено в соответствие с темпами обезлесивания. Сценарии СДСВ включают возможность либо увеличения или уменьшения антропогенных концентраций аэрозолей (например: сульфатных аэрозолей, аэрозолей биомассы, а также аэрозолей чистого и органического углерода) в зависимости от масштабов использования ископаемого топлива и политики, направленной на борьбу с загрязняющими выбросами. Сценарии СДСВ не включают оценки выбросов для несulfатных аэрозолей. В этом докладе рассмотрены два метода прогнозирования этих выбросов: первый модулирует выбросы ископаемого топлива и аэрозолей биомассы с  $\text{CO}_2$ , а второй — выбросы с  $\text{SO}_2$  и обезлесивание. Лишь второй метод применялся для перспективных оценок климата. Для сравнения радиационное воздействие показано также для сценария IS92a. Очевидно, что диапазон для новых сценариев СДСВ сдвинулся в сторону повышения по сравнению со сценариями IS92. Это объясняется главным образом сокращением будущих выбросов  $\text{SO}_2$  в сценариях СДСВ по сравнению со сценариями IS92, но также и несколько большими кумулятивными выбросами углерода, изложенными в некоторых сценариях СДСВ.

Почти во всех сценариях СДСВ радиационное воздействие, вызванное  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и тропосферным  $\text{O}_3$ , продолжает усиливаться, при этом часть общего радиационного воздействия объясняется концентрацией  $\text{CO}_2$ , которая, согласно прогнозам, увеличится от чуть меньше половины до почти трех четвертей общего объема. Радиационное воздействие, вызываемое истощающими  $\text{O}_3$  газами, уменьшится в связи с введением контроля за выбросами, направленного на сдерживание истощения стратосферного озона. Прямое аэрозольное (взятое вместе компоненты серы и чистого и органического углерода) радиационное воздействие (оцениваемое относительно сегодняшнего дня 2000 г.) меняет свой знак для различных сценариев. Прогнозируются меньшие по своей величине по сравнению с  $\text{CO}_2$  прямые плюс косвенные последствия аэрозолей. Отсутствуют какие-либо оценки пространственных аспектов будущих воздействий. Косвенные воздействия аэрозолей на облака включены в расчеты простых моделей климата и нелинейно модулированы к выбросам  $\text{CO}_2$ , исходя из сегодняшнего значения  $-0,8 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , как и в ВДО.

### Е.3 Перспективные оценки будущих изменений температуры

#### Результаты МОЦАО

Чувствительность климата находится, вероятно, в пределах  $1,5\text{—}4,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Эта оценка остается неизменной со времени Доклада МГЭИК об оценках 1990 г. и ВДО. Чувствительность климата представляет собой равновесную реакцию глобальной приземной температуры на удвоение эквивалента концентрации  $\text{CO}_2$ . Диапазон

оценок определяется на основе неопределенностей в климатических моделях и их внутренних обратных связях, особенно связях, касающихся облаков и сопровождающих их процессов. В этом докладе МГЭИК впервые использован такой критерий, как кратковременная реакция климата (КРК). КРК определяется как глобально усредненное изменение приземной температуры воздуха при удвоении концентрации  $\text{CO}_2$  в ходе эксперимента по увеличению концентрации  $\text{CO}_2$  на 1 % в год. Предполагается, что это повышение уровня  $\text{CO}_2$  представляет радиационное воздействие всех парниковых газов. КРК сочетает элементы модельной чувствительности и факторов, влияющих на реагирование (например поглощение тепла океаном). Диапазон КРК для существующих МОЦАО составляет 1,1—3,1 °C.

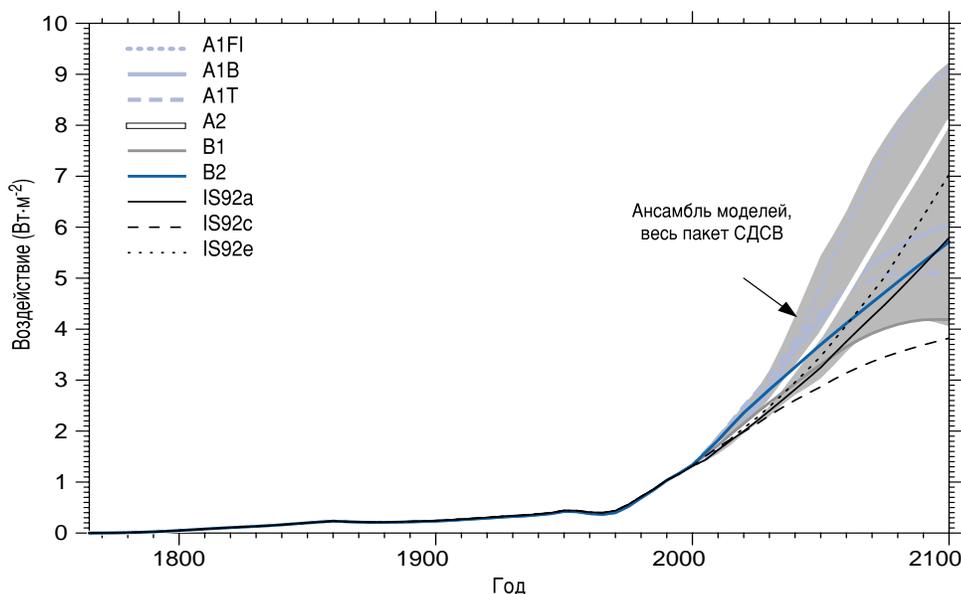
Включение прямого воздействия сульфатных аэрозолей снижает показатель среднего глобального потепления, прогнозируемого в середине XXI века. Конфигурации реагирования приземной температуры для данной модели — с сульфатными аэрозолями и без них — в большей мере похожи между собой по сравнению с конфигурациями, получаемыми с двумя моделями с использованием того же воздействия.

Модели прогнозируют изменения в нескольких широко-масштабных климатических переменных. Поскольку радиационное воздействие климатической системы изменяется, земля нагревается быстрее и в большем масштабе по сравнению с океаном и наблюдается большее относительное потепление в высоких широтах. Модели прогнозируют меньшие увеличения приземной температуры воздуха в Северной Атлантике и приполярных южных

океанских регионах по сравнению с глобальным средним показателем. Прогнозируется снижение диапазона суточных температур во многих районах, при этом низкие значения ночного времени будут увеличиваться в большей мере по сравнению с высокими значениями дневного времени. Ряд моделей показывает общее уменьшение дневной изменчивости приземной температуры воздуха в зимнее время и повышение дневной изменчивости в летний период в материковых районах северного полушария. По мере потепления климата прогнозируется сокращение протяженности снежного покрова и морского льда в северном полушарии. Многие из этих изменений совпадают с нынешними тенденциями наблюдений, как это отмечалось в разделе В.

Для количественного определения среднего климатического изменения и неопределенности, основанных на ряде модельных результатов, используются мультимодельные ансамбли имитаций МОЦАО для определенного ряда сценариев. Для конца XXI века (2071—2100 гг.) средние изменения средней глобальной приземной температуры воздуха по сравнению с периодом 1961—1990 гг. составляют 3 °C (в пределах 1,3—4,5 °C) для проекта сигнального сценария A2 и 2,2 °C (в пределах 0,9—3,4 °C) для проекта сигнального сценария B2. Сценарий B2 показывает меньшее потепление, которое соответствует его более низкому показателю увеличения концентрации  $\text{CO}_2$ .

При временных масштабах в несколько десятилетий текущий наблюдаемый показатель потепления может быть использован для ограничения прогнозируемого реагирования на сценарий данных выбросов, несмотря на неопределенность, связанную с чувствительностью климата. Анализ простых



**Рисунок ТР-19.** Результаты простой модели: историческая оценка антропогенного радиационного воздействия до 2000 г. с последующей оценкой радиационного воздействия для шести показательных сценариев СДСВ. Серым цветом показана огибающая линия воздействия, которая охватывает весь ансамбль 35 сценариев СДСВ. Метод расчета точно следует тому, объяснение которому содержится в главах. Величины основаны на радиационном воздействии, соответствующем двойному уровню  $\text{CO}_2$ , вытекающему из семи МОЦАО. Воздействие согласно сценариям IS92a, IS92c и IS92e также показано с использованием того же метода расчета. [На основе рисунка 9.13a]

моделей и взаимные сравнения реакций МОЦАО на идеализированные сценарии воздействия показывают, что в большинстве сценариев на ближайшие десятилетия существует вероятность возрастания ошибок в крупномасштабных оценках температуры пропорционально величине общего реагирования. Оценочный размер и неопределенность текущих наблюдаемых показателей потепления, объясняемого деятельностью человека, обеспечивает, таким образом, относительно независимую от модели оценку неопределенности во многодесятилетних перспективных оценках в рамках большинства сценариев. Для того чтобы соответствовать данным последних наблюдений антропогенное потепление, согласно сценарию IS92a, должно, вероятно, находиться в пределах 0,1—0,2 °C/десятилетие в течение последующих нескольких десятилетий. Это напоминает диапазон реагирования на этот сценарий, основанный на семи вариантах простой модели, использованной на рисунке TP-22.

*Большая часть характеристик географического реагирования в сценарных экспериментах СДСВ совпадает в различных сценариях (см. рисунок TP-20) и схожа с характеристиками, полученными для идеализированных интеграций увеличения CO<sub>2</sub> на 1 %. Самое большое различие между экспериментами, основанными на однопроцентном увеличении CO<sub>2</sub>, без какого-либо сульфатного аэрозоля, и экспериментами в рамках СДСВ, заключается в региональном смягчении потепления в промышленно-развитых районах (в экспериментах СДСВ), где негативное воздействие сульфатных аэрозолей проявляется наиболее ярко. Этот региональный эффект отмечался в ВДО лишь для двух моделей, однако в настоящее время он проявляется в рамках большего количества самых современных моделей.*

*Весьма вероятно, что потепление почти во всех материковых районах будет происходить более быстрыми темпами по сравнению с глобальным средним показателем, особенно в районах северных высоких широт в холодный сезон. Результаты (см. рисунок TP-21) последних имитаций при помощи МОЦАО, совмещенные со сценариями выбросов A2 и B2 СДСВ, показывают, что зимой потепление во всех северных регионах высоких частот превышает среднее глобальное потепление в каждой модели более чем на 40 % (1,3—6,3 °C для ряда рассмотренных моделей и сценариев). В летний период потепление на 40 % превышает среднее глобальное изменение в центральной и северной частях Азии. Лишь в южной части Азии и южной части Южной Америки в*

июне/июле/августе, а в Юго-Восточной Азии в течение обоих сезонов, модели все же последовательно показывают уровень потепления ниже глобального среднего.

### *Результаты простых климатических моделей*

Ввиду стоимости расчетов, МОЦАО могут прогоняться лишь для ограниченного количества сценариев. Простая модель может быть калибрована для представления глобально усредненных реакций МОЦАО и прогоняться для гораздо большего количества сценариев.

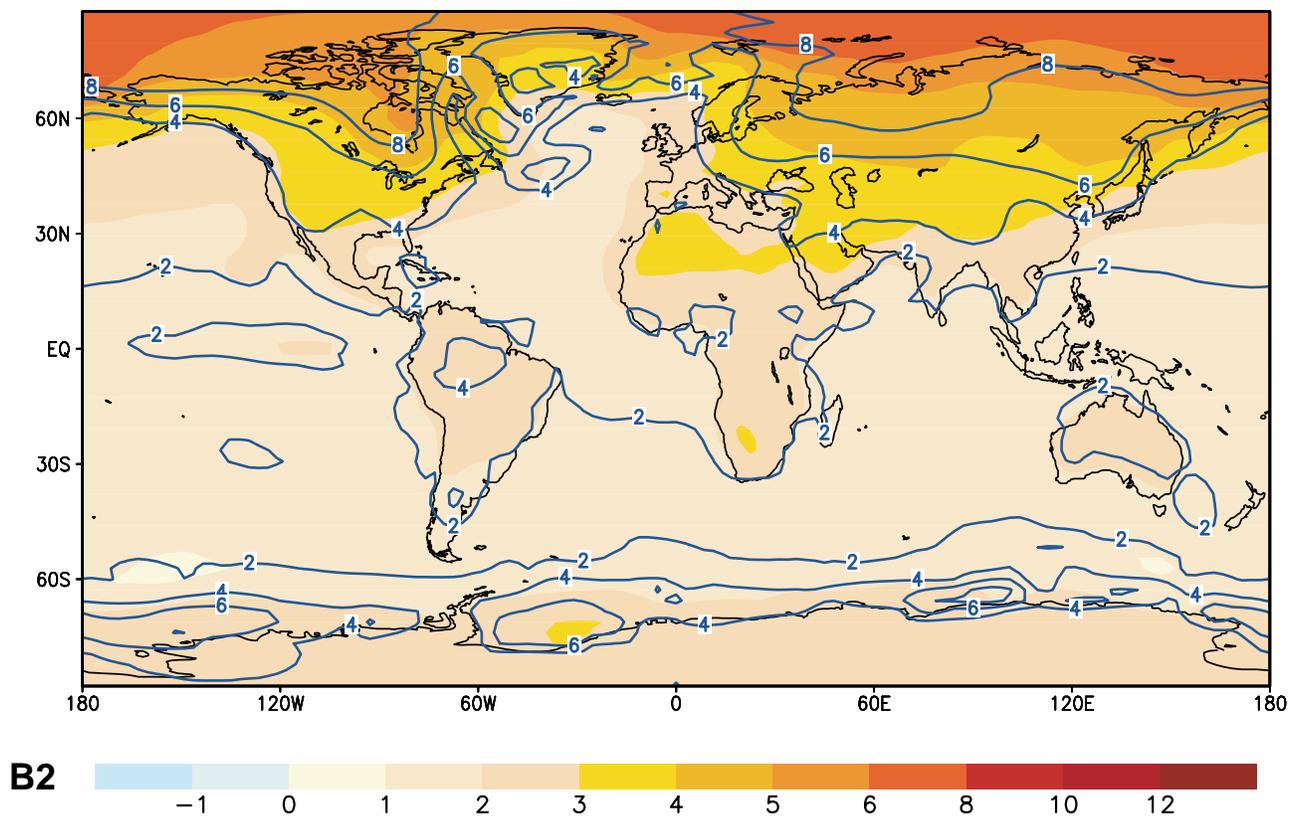
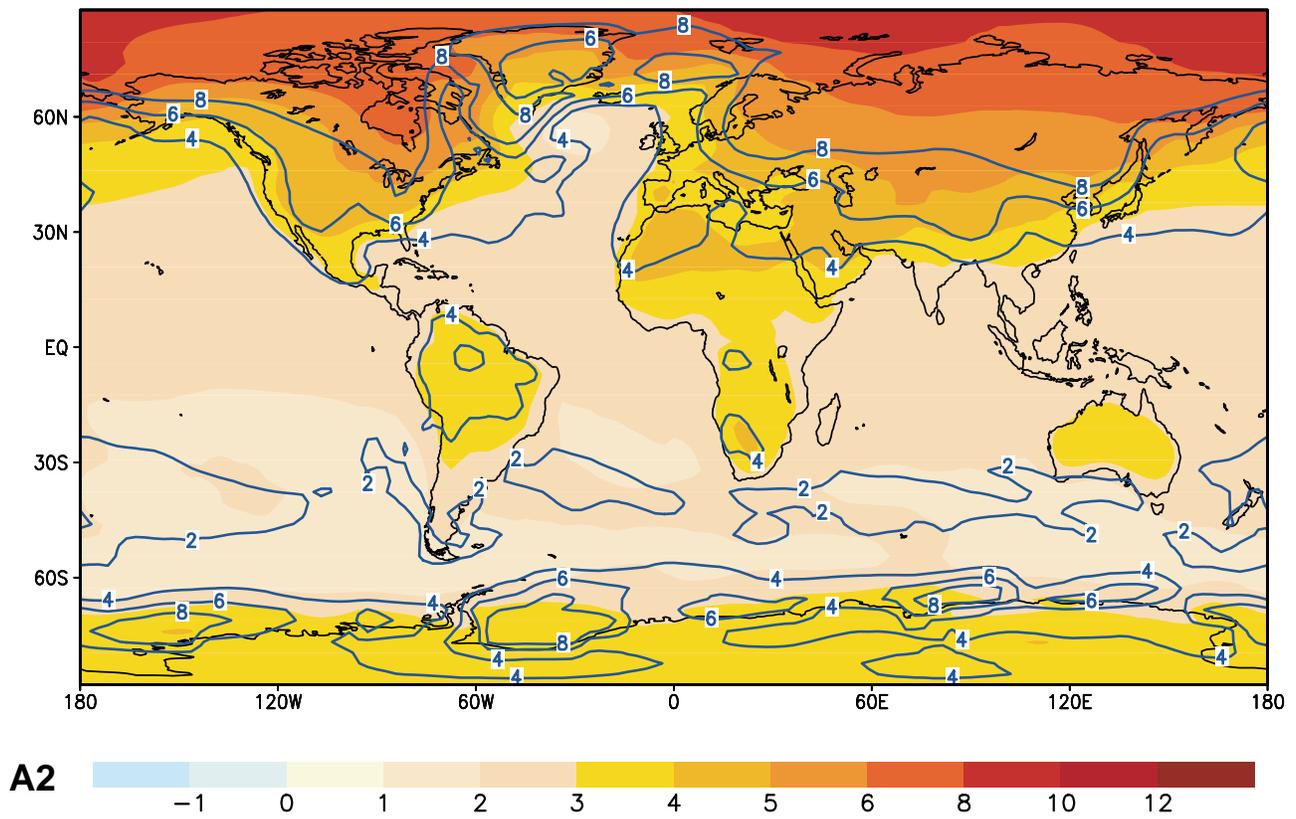
*Прогнозируется увеличение глобально усредненной поверхностной температуры на 1,4—5,8 °C (рисунок TP-22(a)) в период 1990—2100 гг. Эти результаты относятся ко всему ансамблю 35 сценариев СДСВ и основаны на ряде климатических моделей<sup>6,7</sup>. Повышение температуры, согласно прогнозам, превзойдет данные ВДО, в котором это повышение составляло порядка 1,0—3,5 °C на основе шести сценариев IS92. Более высокие прогнозируемые температуры и более широкий диапазон объясняются главным образом более низкими прогнозируемыми выбросами SO<sub>2</sub> в сценариях СДСВ по сравнению со сценариями IS92. Прогнозируемый показатель потепления гораздо выше изменений, наблюдаемых в течение XX века, и останется, вероятно, судя по палеоклиматическим данным, беспрецедентным в течение как минимум 10 000 лет.*

*Классификация сценариев СДСВ по степени изменения средней глобальной температуры меняется во времени. В частности, для сценариев с более высоким объемом использования ископаемого топлива (и, следовательно, более высокими выбросами двуокиси углерода, например A2) выбросы SO<sub>2</sub> также выше. В ближайшей перспективе (приблизительно до 2050 г.) эффект охлаждения наиболее высоких выбросов двуокиси серы значительно снижает потепление, вызванное ростом выбросов парниковых газов таких сценариев, как A2. Обратный эффект наблюдается со сценариями B1 и B2, которые предусматривают более низкие выбросы ископаемого топлива, а также более низкие выбросы SO<sub>2</sub>, что ведет к более явному потеплению в ближайшей перспективе. В долгосрочной перспективе, однако, уровень выбросов парниковых газов с большим периодом жизни таких, как CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O, становится доминирующим определяющим фактором итоговых климатических изменений.*

*К 2100 г. различия в выбросах во всех сценариях СДСВ и различное реагирование климатических моделей внесут*

6 Комплексные модели климата на физической основе являются основным средством прогнозирования изменения будущего климата. В целях изучения ансамбля сценариев они дополняются простыми моделями климата, откалиброванными для получения эквивалентной реакции в уровне температуры и моря, соответствующей комплексным моделям климата. Указанные перспективные оценки получают посредством использования простой модели климата, в которой чувствительность климата и поглощение тепла океанами калиброваны применительно к каждой из семи комплексных климатических моделей. Чувствительность климата, использованная в простых моделях, находится в пределах 1,7—4,2 °C, что сопоставимо с обычно применяемым диапазоном 1,5—4,5 °C.

7 Этот диапазон не включает неопределенности в моделировании радиационного воздействия, например неопределенности, связанные с аэрозольным воздействием. Учтена слабая климатическая обратная связь цикла углерода.



**Рисунок ТР-20.** Среднегодовое изменение температуры (цветное затенение) и его диапазон (изолинии) (единица измерения: °С) для сценария А2 СДСВ (верхнее изображение) и сценария В2 СДСВ (нижнее изображение). Оба сценария СДСВ показывают период 2071—2100 гг. по отношению к периоду 1961—1999 гг. и применялись в МОЦАО. [На основе рисунков 9.10d и 9.10e]

аналогичную неопределенность в диапазон изменения глобальной температуры. Дополнительные неопределенности возникнут в связи с неопределенностями радиационного воздействия. Самая большая неопределенность воздействия — это неопределенность, вызванная сульфатными аэрозолями.

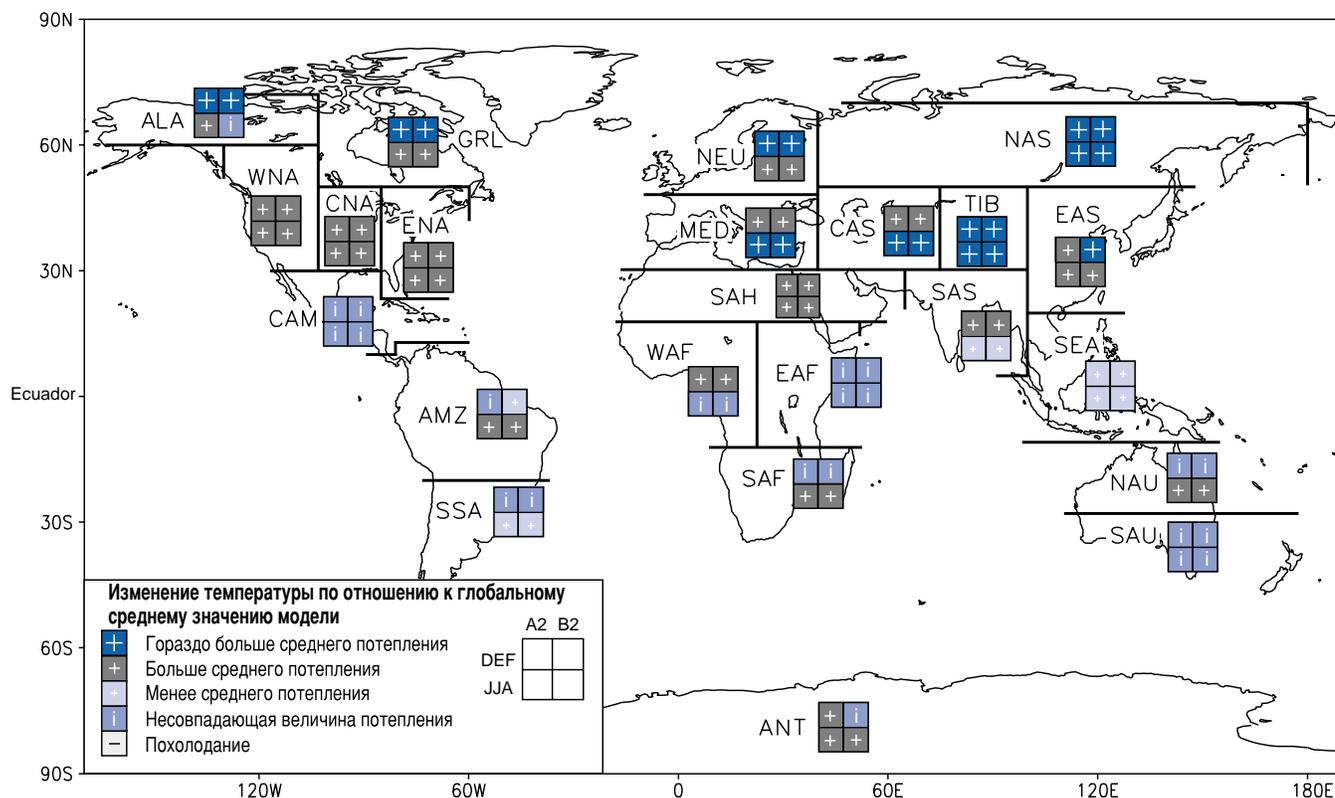
#### Ф.4 Перспективные оценки будущих изменений осадков

Прогнозируется повышение глобально усредненного показателя водяного пара, испарения и осадков. В региональном масштабе наблюдаются как увеличения, так и уменьшения осадков. Результаты (см. рисунок ТР-23), полученные при помощи последних имитаций МОЦАО, совмещенные со сценариями выбросов А2 и В2 СДСВ, показывают, что существует вероятность увеличения осадков как летом, так и зимой, в районах высоких широт. Зимой увеличения наблюдаются также в северных умеренных широтах, тропической Африке и Антарктике, а летом — в южной и восточной частях Азии. Австралия, Центральная Америка и южная часть Африки характеризуются последовательным уменьшением объема осадков в зимний период.

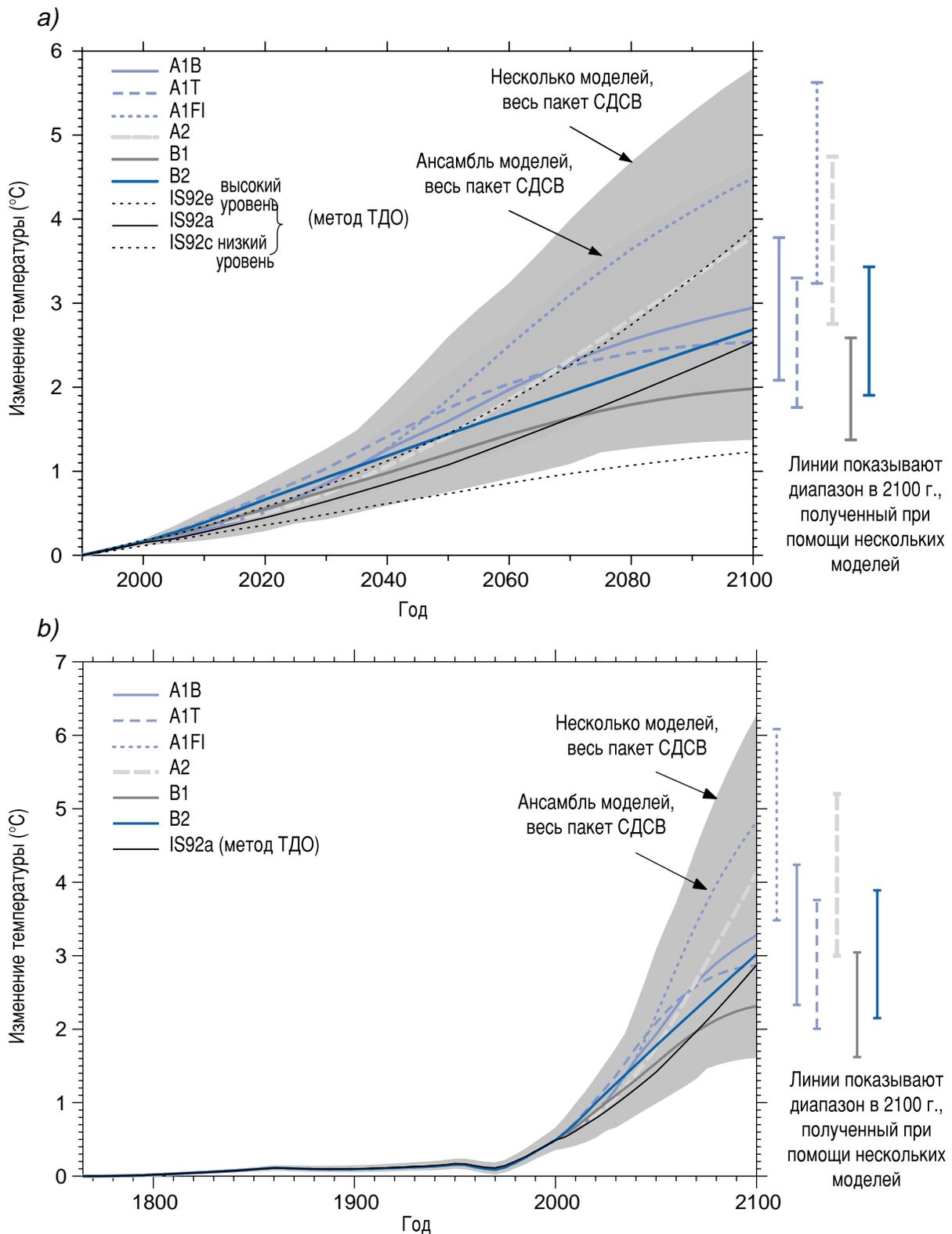
Исходя из характеристик, вытекающих из ограниченного количества исследований при помощи существующих МОЦАО, более старых моделей ЦАО, а также исследований районирования, отмечается существенная корреляция между межгодовой изменчивостью осадков и средним показателем осадков. Будущие повышения показателя средних осадков приведут, вероятно, к увеличению изменчивости. И напротив, изменчивость осадков уменьшится, вероятно, лишь в районах, где средний показатель осадков снизится.

#### Ф.5 Перспективные оценки будущих изменений в экстремальных явлениях

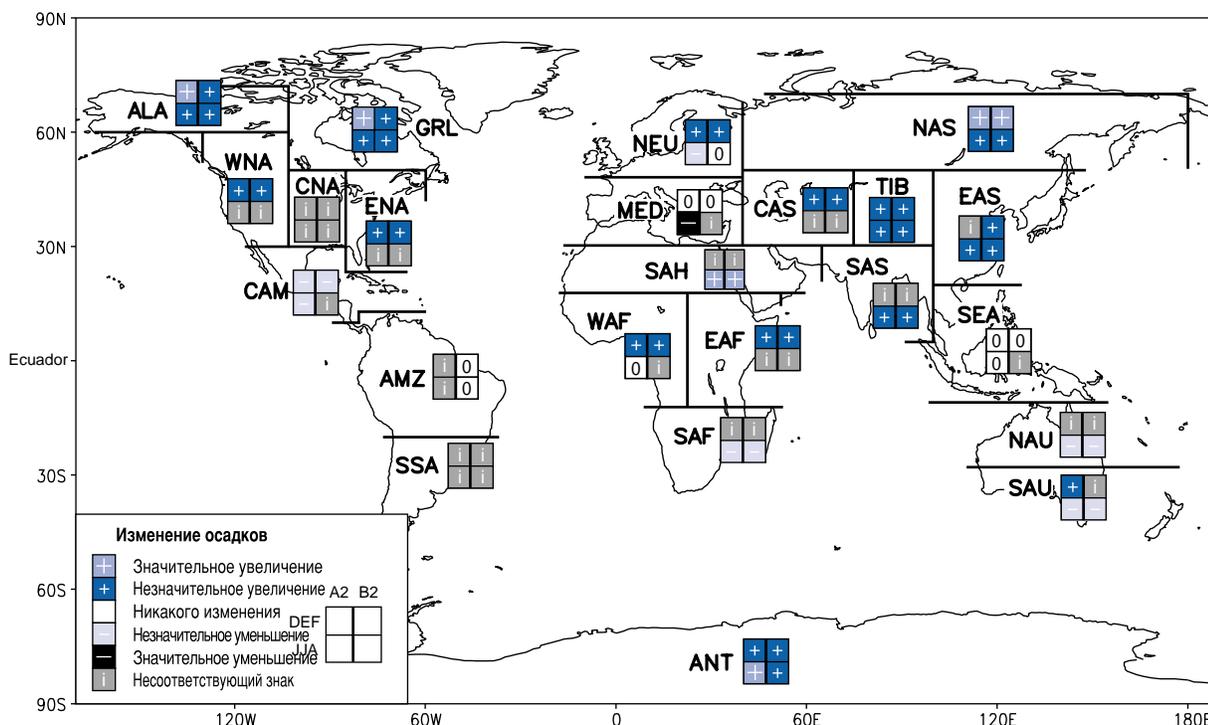
Сравнение изменений в наблюдаемых экстремальных явлениях погоды и климата с изменениями, прогнозируемыми при помощи моделей, проведено лишь недавно (таблица ТР-4). Почти во всех материковых районах будет наблюдаться, видно, большее количество жарких дней и волн тепла. Наибольшая величина этих увеличений прогнозируется главным образом в тех районах, в которых происходит уменьшение влажности почвы. Повышение дневных минимальных температур прогнозируется почти



**Рисунок ТР-21.** Анализ межмодельной согласованности относительного регионального потепления (потепление относительно среднего глобального потепления в каждой модели). Регионы классифицируются по принципу характеризующихся либо согласованностью с потеплением, превышающим среднее глобальное более чем на 40 % («гораздо больше среднего потепления»), согласованностью с потеплением, превышающим среднее глобальное («больше среднего потепления»), согласованностью с потеплением меньше среднего глобального («менее среднего потепления»), либо несогласованностью между моделями в отношении величины относительного регионального потепления («несовпадающая величина потепления»). Существует также категория согласованности в отношении похолодания (которое никогда не происходит). Для согласованности необходимым считается результат соответствия как минимум семи моделей из девяти. Диапазон ежегодного глобального среднего потепления используемых моделей составляет 1,2—4,5 °С для сценария А2 и 0,9—3,4 °С для сценария В2, в этой связи региональное повышение на 40 % означает диапазоны потепления 1,7—6,3 °С для А2 и 1,3—4,7 °С для В2. [На основе главы 10, блок 1, рисунок 1]



**Рисунок ТР-22.** Результаты простой модели: а) перспективные оценки средней глобальной температуры для шести иллюстративных сценариев СДСВ, подготовленные с использованием простой климатической модели, скорректированной применительно к ряду комплексных моделей с определенным диапазоном чувствительности климата. Также в целях сравнения при помощи того же метода показаны результаты, полученные для IS92a. Более сильное затемнение показывает глобальный пакет полного ансамбля 35 сценариев СДСВ с использованием средних результатов модели (средняя чувствительность климата составляет 2,8 °C). Более светлое затемнение — это пакет, основанный на всех семи перспективных оценках модели (при чувствительности климата в диапазоне 1,7—4,2 °C). Для каждого из шести иллюстративных сценариев СДСВ линиями показан диапазон результатов, полученных при помощи простой модели для 2100 г. согласно семи моделям МОЦАО. б) То же самое, что и а), однако использованы также результаты, основанные на исторической оценке антропогенного воздействия. [На основе рисунков 9.14 и 9.13b]



**Рисунок ТР-23.** Анализ межмодельной согласованности изменения региональных осадков. Районы классифицируются по принципу либо согласованности с увеличением среднего изменения более чем на 20 % («значительное увеличение»), согласованностью с увеличением среднего изменения от 5 до 20 % («незначительное увеличение»), согласованностью с изменением от -5 до +5 % или согласованностью со средним изменением между -5 и +5 % («никакого изменения»), согласованностью с уменьшением среднего изменения от -5 и -20 % («незначительное уменьшение»), согласованностью с уменьшением среднего изменения менее чем на -20 % («значительное уменьшение») или несоответствием («несоответствующий знак»). Для согласованности необходимым представляется соответствующий результат как минимум семи из девяти моделей. [На основе главы 10, блок 1, рисунок 2]

во всех материковых районах и, как правило, оно больше в тех местах, где происходит отступление снежного и ледяного покрова. Морозные дни и волны холода станут, вероятно, более редкими. Изменения приземной температуры воздуха и абсолютной влажности поверхности приведут, согласно оценкам, к повышению индекса тепла (который представляет собой показатель комбинированных эффектов температуры и влажности). Повышения приземной температуры воздуха также приведут, согласно оценкам, к увеличению количества «градусо-дней теплого сезона» (что является показателем степени охлаждения, которое требуется в данный день, после того как температура превышает данное пороговое значение), а также уменьшению «градусо-дней отопления». Прогнозируется увеличение экстремальных величин осадков выше средних, а также повышение интенсивности осадков. Прогнозируется почти повсеместное повышение частоты экстремальных осадков. Прогнозируется общее осушение в средноконтинентальных районах в летний период. Оно объясняется сочетанием более высокой температуры и потенциальной испаряемости, которая не уравновешивается повышением осадков. В то же время, модели характеризуются пока незначительной степенью согласованности между ними в том, что касается будущих изменений интенсивности штормов в средних широтах, их частоты и изменчивости. Мало последовательных

доказательств, свидетельствующих об изменениях в прогнозируемой частоте тропических циклонов и районах их образования. В то же время, некоторые измерения интенсивности показывают возможное увеличение, а некоторые теоретические или модельные исследования свидетельствуют о том, что верхний предел этих интенсивностей может подняться. Средние и пиковые интенсивности осадков, вызванных тропическими циклонами, вероятно, увеличатся значительным образом.

По некоторым другим экстремальным явлениям, многие из которых могут иметь важные последствия для окружающей среды и общества, в настоящее время не хватает информации для оценки последних тенденций, а достоверность на уровне моделей и понимания является неадекватной для того, чтобы делать уверенные перспективные оценки. В частности, весьма мелкомасштабные явления, как-то: грозы, торнадо, град и молния — не поддаются имитации в глобальных моделях. Отсутствует надлежащий анализ того, каким образом могут происходить изменения во внетропических циклонах.

#### 4.6 Перспективные оценки будущих изменений в термогалинной циркуляции

Большинство моделей показывают ослабление термогалинной циркуляции (ТГЦ) в северном полушарии, что способствует уменьшению потепления поверхности в

**Таблица ТР-4.** *Оценки достоверности наблюдаемых и прогнозируемых изменений в экстремальных явлениях погоды и климата. В таблице приводится оценка достоверности наблюдаемых изменений экстремальных явлений погоды и климата в течение второй половине XX века (левая колонка) и прогнозируемых изменений в течение XXI века (правая колонка)<sup>a</sup>. Эта оценка основана на исследованиях при помощи наблюдений и моделирования, а также физической вероятности будущих перспективных оценок в рамках всех обычно используемых сценариев, и основана на заключениях экспертов (см. сноску 4). [На основе таблицы 9.6]*

Достоверность наблюдаемых изменений (вторая половина XX века)	Изменения в явлении	Достоверность прогнозируемых изменений (в XXI веке)
Вероятно	<b>Более высокие максимальные температуры и большее количество жарких дней почти во всех материковых районах</b>	Весьма вероятно
Весьма вероятно	<b>Более высокие минимальные температуры, меньшее количество холодных и морозных дней почти во всех материковых районах</b>	Весьма вероятно
Весьма вероятно	<b>Уменьшение диапазона суточной температуры почти во всех материковых районах</b>	Весьма вероятно
Вероятно, во многих районах	<b>Повышение индекса тепла<sup>8</sup> в материковых районах</b>	Весьма вероятно, почти во всех районах
Вероятно, во многих районах средних-высоких широт северного полушария	<b>Более интенсивные осадки<sup>b</sup></b>	Весьма вероятно, во многих районах
Вероятно, в нескольких районах	<b>Более сильное летнее континентальное осушение и связанный с ним риск засухи</b>	Вероятно, в большинстве внутриматериковых районов средних широт (отсутствие последовательных оценок в других районах)
Не наблюдаются в немногочисленных имеющихся анализах	<b>Повышение пиковой интенсивности ветра во время тропических циклонов<sup>c</sup></b>	Вероятно, в некоторых районах
Нехватка данных для оценки	<b>Повышение средней и пиковой интенсивности осадков при тропических циклонах<sup>c</sup></b>	Вероятно, в некоторых районах

<sup>a</sup> Более подробно см. главу 2 (наблюдения) и главы 9, 10 (проекты).  
<sup>b</sup> По другим районам либо не хватает данных, либо анализы противоречат друг другу.  
<sup>c</sup> Прошлые и будущие изменения мест тропических циклонов.

северной части Северной Атлантики. Даже в моделях, где происходит ослабление ТГЦ, тем не менее сохраняется потепление в Европе, вызванное повышением концентрации парниковых газов. В тех экспериментах, где концентрация атмосферных парниковых газов стабилизируется на уровне двойного показателя ее сегодняшнего дня, ТГЦ в Северной Атлантике восстановится, согласно прогнозам, после первоначального ослабления в течение одного-нескольких веков. ТГЦ может полностью прекратиться в любом из полушарий, если величина изменения радиационного воздействия является достаточно крупной, а само воздействие продолжалось достаточно долго. Модели показывают, что уменьшение ТГЦ снижает ее устойчивость к пертурбациям, т. е. после того как происходит сокращение ТГЦ, она становится, по-видимому, менее стабильной и ее прекращение может стать более вероятным. В то же время, еще слишком рано говорить с уверенностью о том, является ли вероятным необратимое

прекращение ТГЦ, или о том, при каком пороговом значении оно могло бы произойти и какими могли бы быть климатические последствия. Ни одна из существующих перспективных оценок при помощи совмещенных моделей не показывает полного прекращения ТГЦ к 2100 г. Хотя североатлантическая ТГЦ ослабевает во многих моделях, относительные роли потоков поверхностного тепла и пресной воды меняются в зависимости от моделей. Изменение давления ветра играет, вероятно, лишь незначительную роль в рамках временного реагирования.

#### **Е.7 Перспективные оценки будущих изменений в моделях естественной изменчивости**

Многие модели показывают средний размер реагирования Эль-Ниньо в тропической части Тихого океана, при этом прогнозируется, что температура поверхности моря в центральной и восточной экваториальной части Тихого океана будет повышаться в большей мере по сравнению с

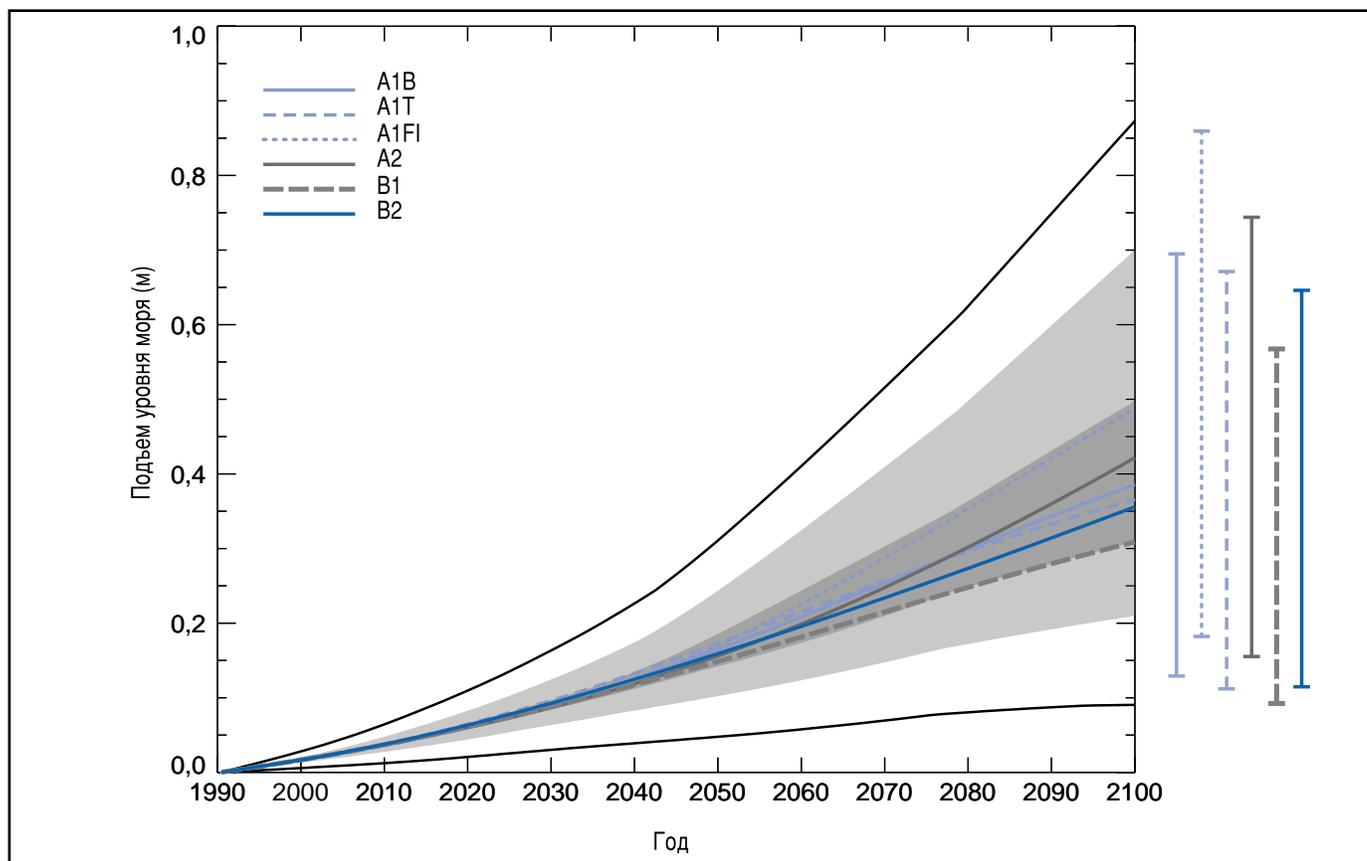
<sup>8</sup> Индекс жары: сочетание температуры и влажности, посредством которого определяются последствия для комфорта человека.

западной экваториальной частью Тихого океана с соответствующим средним сдвигом осадков в восточном направлении. Хотя многие модели в результате Эль-Ниньо показывают изменение среднего состояния температур поверхности моря в тропической части Тихого океана, причина этого явления остается неопределенной. Оно объяснялось изменениями радиационного воздействия облаков и/или фактора влажности за счет испарения градиента температуры поверхности моря по линии восток-запад в некоторых моделях. Достоверность перспективных оценок будущих изменений частоты, величины и пространственной конфигурации явлений Эль-Ниньо в тропической части Тихого океана снижается в результате некоторых недостатков, связанных с тем, насколько точно Эль-Ниньо имитируется в комплексных моделях. Существующие оценки показывают незначительные изменения или слабое увеличение амплитуды явлений Эль-Ниньо в течение последующих 100 лет. В то же время, даже при незначительном или нулевом изменении величины Эль-Ниньо, глобальное потепление приведет, вероятно, к большим экстремальным показателям осушения и сильных осадков, а также повышению риска засух и наводнений,

которые сопровождают Эль-Ниньо во многих регионах. Вероятно также, что потепление, связанное с повышением концентраций парниковых газов, явится причиной усиления изменчивости летних муссонных осадков в Азии. Изменения в средней продолжительности и силе муссонных осадков зависят от подробностей данных сценария выбросов. Достоверность подобных оценок ограничивается тем, насколько точно климатические модели имитируют подробную сезонную эволюцию муссонов. Нет какой-либо четкой согласованности в отношении изменений частоты или структуры естественных режимов изменчивости, таких, как североатлантическое колебание, т. е. величина и характер изменений являются различными в зависимости от разных моделей.

#### **Ф.8 Перспективные оценки будущих изменений материкового льда (ледников, ледниковых куполов и ледовых щитов), морского льда и снежного покрова**

*Ледники и ледниковые куполы будут продолжать свое широко распространенное отступление в течение XXI века и прогнозируется дальнейшее уменьшение протяженности*



**Рисунок ТР-24.** Средний глобальный подъем уровня моря в период 1990—2100 гг. для сценариев СДСВ. Тепловое расширение и изменения материкового льда были рассчитаны при помощи модели простого климата, калиброванные отдельно для каждой из семи МОЦАО, а также с учетом факторов изменений в состоянии вечной мерзлоты, влияния разложения наносов и долгосрочной адаптации ледовых щитов к изменению климата в прошлом. Каждая из шести фигурирующих в условном изображении представляет собой средний показатель МОЦАО для одного из шести иллюстративных сценариев. Темным цветом показан диапазон средней величины МОЦАО для всех 35 сценариев СДСВ. Более светлым цветом показан ансамбль МОЦАО для всех 35 сценариев. Участок, ограниченный внешними линиями, показывает ансамбль МОЦАО и сценариев, включая неопределенность, касающуюся изменений материкового льда, изменений вечной мерзлоты и отложения наносов. Необходимо отметить, что этот ансамбль не относится к неопределенности, касающейся изменений динамики льда в Западноантарктическом ледовом щите. [На основе рисунка 11.12]

снежного покрова и морского льда в северном полушарии. В последнее время разработаны методы оценки таяния ледников в результате изменения приземной температуры воздуха в зависимости от сезона и географического района, данные о которых были получены благодаря экспериментам на основе МОЦАО. Исследования на основе моделирования показывают, что главное влияние на эволюцию ледниковой массы в глобальном среднем масштабе оказывают скорее изменения температуры, а не изменения осадков.

*Антарктический ледовый щит увеличит, вероятно, свою массу вследствие большего объема осадков, в то время как Гренландский ледовый щит ее уменьшит, вероятно из-за того, что увеличение стока превысит рост объема осадков.* Западноантарктический ледовый щит (ЗАЛЩ) привлек к себе особое внимание, поскольку он содержит достаточный объем льда для того, чтобы повысить уровень моря на 6 м, а также в силу оценки, согласно которой нестабильность, связанная с тем, что он находится ниже уровня моря, может привести к быстрому сбросу льда в тот момент, когда произойдет ослабление прочности окружающих шельфовых ледников. В то же время, существует общее согласие в отношении того, что потеря ископаемого льда, ведущая к существенному подъему уровня моря из этого источника, будет весьма маловероятной в XXI веке, хотя динамика этого процесса до сих пор не понята должным образом, особенно в том, что касается оценок в более длительных временных масштабах.

### **Е.9 Перспективные оценки будущих изменений уровня моря**

*Перспективные оценки среднего глобального подъема уровня моря в период с 1990 г. по 2100 г., подготовленные с использованием ряда МОЦАО на основе сценария IS92a (включая прямой эффект выбросов сульфатных аэрозолей) находятся в пределах 0,11—0,77 м. Этот диапазон отражает систематическую неопределенность моделирования. К числу основных факторов, влияющих на этот подъем уровня моря, относятся:*

- тепловое расширение в размере 0,11—0,43 м, которое ускорится в XXI веке;
- вклад ледников, составляющий от 0,01 до 0,23 м;
- вклад льдов Гренландии, составляющий от -0,02 до 0,09 м;
- вклад Антарктики, составляющий от -0,17 до +0,02 м.

Кроме того, при расчете общего изменения учитывались меньшие вклады в виде таяния вечной мерзлоты, отложения наносов и текущих процессов, происходящих с ледовыми щитами в результате изменения климата после последнего ледникового максимума. Для определения диапазона подъема уровня моря, определяемого выбором различных сценариев СДСВ, используются результаты изменения теплового расширения и морского льда, полученные при помощи простых моделей, адаптированных к нескольким МОЦАО (как в разделе Е.3 для температуры).

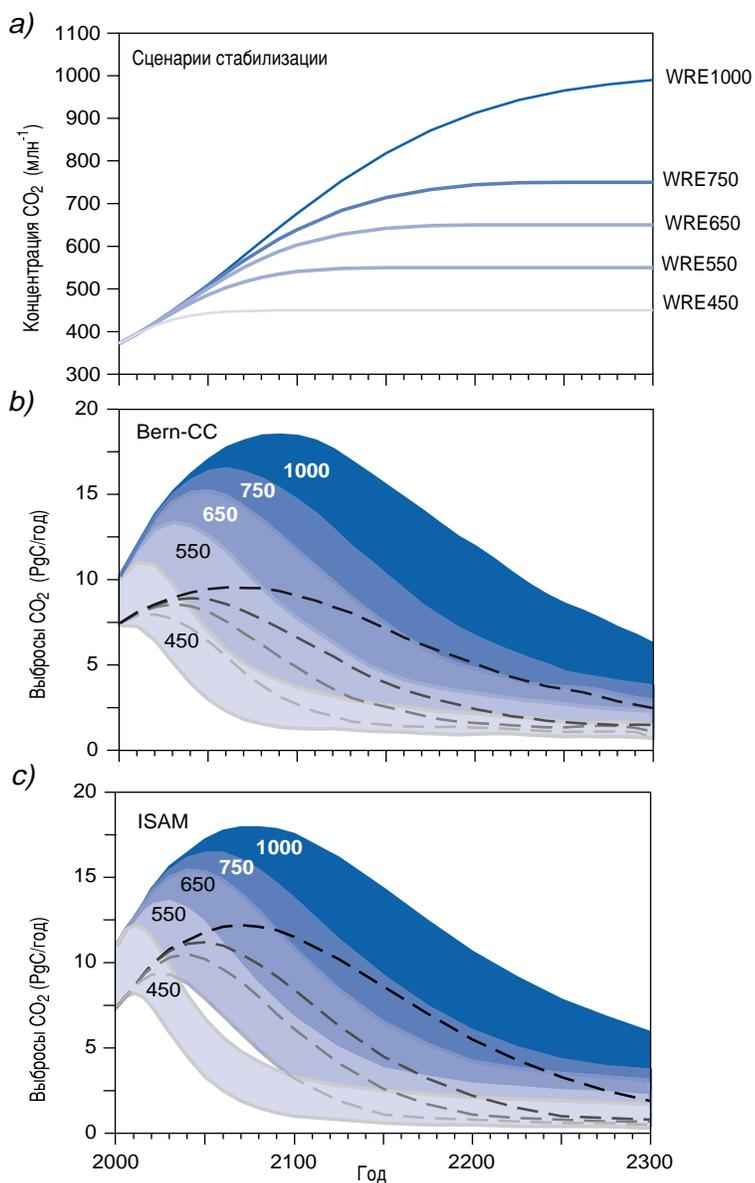
*Для полного набора сценариев СДСВ в период 1990—2100 гг. прогнозируется подъем уровня моря в пределах 0,09—0,88 м (см. рисунок ТР-24), который объясняется главным образом тепловым расширением и потерей массы ледников и ледниковых куполов. Средняя величина составляет 0,48 м, что соответствует среднему показателю, превышающему почти в 2—4 раза показатель, наблюдаемый в XX веке. Диапазон подъема уровня моря, представленный в ВДО, составлял 0,13—0,94 м на основе сценариев IS92. Несмотря на содержащиеся в этой оценке прогнозы повышения температуры, перспективные оценки уровня моря являются несколько ниже, главным образом ввиду использования более совершенных моделей, которые в меньшей мере учитывают вклад со стороны ледников и ледовых щитов. Если наземное накопление будет продолжаться нынешними темпами, перспективные оценки могут измениться от -0,21 до 0,11 м. В среднем по МОЦАО сценарии СДСВ дают результаты, которые для первой половины XXI века отличаются на 0,2 м или меньше. К 2100 г. они меняются в пределах, составляющем порядка 50 % от средней величины. После XXI века подъем уровня моря в значительной степени зависит от сценария выбросов.*

Модели согласуются в отношении качественного вывода о том, что диапазон регионального колебания изменения уровня моря является существенным по сравнению со средним глобальным уровнем моря. В то же время, достоверность регионального распределения изменения уровня моря, согласно МОЦАО, является низкой, поскольку модели характеризуются незначительной схожестью, хотя почти все модели прогнозируют подъем выше среднего в Северном Ледовитом океане и меньше среднего — в Южном океане. Кроме того, перемещения суши как изостатические, так и тектонические, будут продолжаться в течение XXI века темпами, на которые изменение климата не влияет. Можно ожидать, что к 2100 г. многие регионы, которые в настоящее время характеризуются относительным снижением уровня моря, будут наоборот характеризоваться относительным подъемом уровня моря. И наконец, в результате среднего подъема уровня моря экстремально высокие уровни воды будут наблюдаться все более часто. Их частота может, вероятно, еще больше увеличиться в том случае, если в результате изменения климата штормы станут более частыми или суровыми.

### **Е.10 Перспективные оценки будущих изменений реагирования на профили стабилизации концентрации CO<sub>2</sub>**

#### **Парниковые газы и аэрозоли**

*Все изученные профили стабилизации предусматривают окончательное уменьшение выбросов CO<sub>2</sub> гораздо ниже существующих уровней. Показатели антропогенного выброса CO<sub>2</sub>, которые достигают стабильных уровней концентрации CO<sub>2</sub> от 450 до 1000 млн<sup>-1</sup>, были исключены из предписанных профилей CO<sub>2</sub> (рисунок ТР-25a). Результаты (рисунок ТР-25b) не отличаются существенным образом от тех, которые*



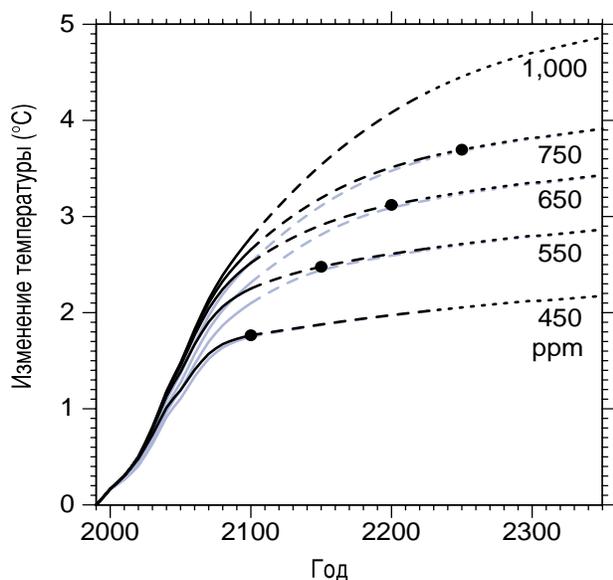
**Рисунок TP-25.** Прогнозируемые выбросы CO<sub>2</sub>, позволяющие стабилизацию антропогенных концентраций CO<sub>2</sub> с различными окончательными значениями. Раздел (a) показывает предполагаемые траектории концентрации CO<sub>2</sub> (сценарии WRE), а разделы (b) и (c) — предполагаемые выбросы CO<sub>2</sub>, прогнозируемые при помощи двух быстрых моделей цикла углерода, а именно Bern-CC и ISAM. Диапазоны модели ISAM были получены посредством корректировки модели к приближенному спектру реагирования на CO<sub>2</sub> и климата, полученному посредством взаимных сравнений между моделями. Подобный подход уменьшает влияние неопределенностей реагирования цикла углерода. Диапазоны модели Bern-CC получены посредством сочетания различных предположений в отношении воздействия обогащения атмосферы двуокисью углерода, реагирования гетеротрофного биологического круговорота на температуру и время кругооборота океанов, приближаясь, таким образом, к верхней границе неопределенностей в реагировании цикла углерода. Для каждой модели верхняя и нижняя границы обозначены верхней и нижней частью затемненной зоны. В качестве альтернативы нижний предел (если он скрыт) показан прерывистой линией. [на основе рисунка 3.13]

были представлены в ВДО; в то же время, диапазон является более широким, главным образом ввиду предела будущего наземного поглощения углерода, связанного с различными допущениями в моделях. Для стабилизации на 450, 650 или 1000 млн<sup>-1</sup> потребуются сокращение глобальных антропогенных выбросов ниже их уровней 1990 г. в течение нескольких десятилетий, около века или около двух столетий, соответственно, после чего этот уровень будет стабильно снижаться. Хотя океан обладает достаточным потенциалом для поглощения 70—80 % прогнозируемых антропогенных выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу, этот процесс займет столетие, учитывая темпы перемешивания в океане. В результате этого, даже через несколько веков после выбросов около четверти увеличения концентраций, вызванных этими выбросами, все еще будет присутствовать в атмосфере. Для поддержания концентрации CO<sub>2</sub> на постоянном уровне после 2300 г. потребуются сокращение выбросов, соответствующее темпам роста поглотителей углерода в тот период.

Естественные поглотители земли и океана, обладающие потенциалом сохраняться в течение столетий или тысяч лет, являются небольшими (<0,2 PgC/год).

### Температура

Средняя глобальная температура продолжает увеличиваться в течение сотен лет темпами, составляющими несколько десятых градуса в столетие после стабилизации концентраций CO<sub>2</sub>, вследствие значительных временных масштабов событий в океане. Температурные последствия профилей концентрации CO<sub>2</sub>, ведущие к стабилизации в диапазоне от 450 млн<sup>-1</sup> до 1000 млн<sup>-1</sup>, изучались с использованием простой модели климата, адаптированной к семи МОЦАО со средней климатической чувствительностью в 2,8 °C. Для всех путей, ведущих к стабилизации, климатическая система характеризуется существенным потеплением в течение XXI века и последующий период (см. рисунок TP-26). Чем ниже уровень стабилизации концентраций, тем меньше изменение общей температуры.



### Уровень моря

Если бы концентрации парниковых газов стабилизировались (даже на сегодняшних уровнях), уровень моря продолжал бы, тем не менее, подниматься в течение сотен лет. Через 500 лет подъем уровня моря в результате теплового расширения мог бы достигнуть лишь половины своего окончательного уровня, который, согласно оценкам моделей, находится в диапазоне 0,5—2,0 м и 1—4 м для уровней CO<sub>2</sub>, превышающих соответственно в 2 и 4 раза доиндустриальный уровень.

Долговременная перспектива характеризуется слабой диффузией и медленными процессами циркуляции, которая переносит тепло в глубины океана. Потеря существенной доли общей массы ледников является вероятной. Те районы, которые в настоящее время частично покрыты льдом, станут скорее всего свободными от него.

Ледовые щиты будут продолжать реагировать на изменение климата в течение последующих нескольких тысяч лет, даже если произойдет стабилизация климата. В общей сложности сегодняшние ледовые щиты Антарктики и Гренландии содержат достаточно воды для того, чтобы поднять уровень моря почти на 70 м, если они растают, поэтому даже незначительное частичное изменение их объема будет иметь существенные последствия.

Согласно модельным оценкам, местное ежегодное среднее потепление более чем на 3 °C, если оно сохранится в течение тысячелетий, приведет фактически к полному таянию ледяного покрова Гренландии с последующим подъемом уровня моря почти на 7 м. Прогнозируемые в Гренландии температуры, как правило, выше среднеглобальных температур на коэффициент 1,2—3,1 для ряда моделей, использованных в главе 11. В случае потепления в Гренландии на 5,5 °C, что соответствует уровню потепления сценариев стабилизации на среднем уровне (см. рисунок TP-26), ледовый щит в Гренландии будет

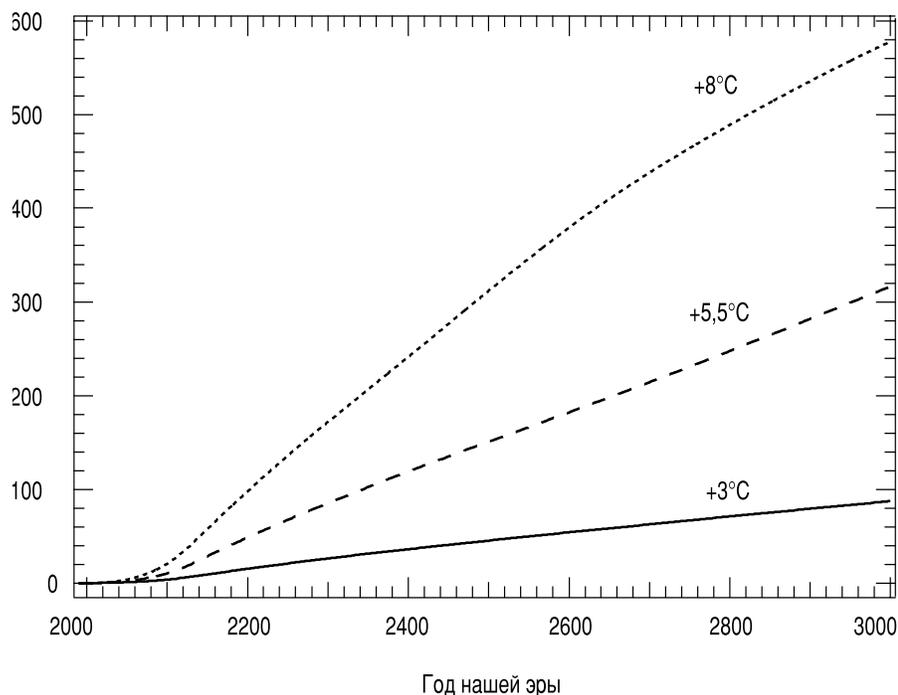
**Рисунок TP-26.** Результаты простой модели: прогнозируемая средняя глобальная температура меняется, когда концентрация CO<sub>2</sub> стабилизируется согласно профилям WRE (см. раздел 9.3.3 главы 9). Для сравнения, результаты, основанные на профилях S в ВДО, также показаны зеленым цветом (S1000 отсутствует). Результаты представляют собой усредненную величину, полученную при помощи простой климатической модели, адаптированной к семи МОЦАО. Исходным сценарием является сценарий A1B, конкретизированный только до 2100 г. После 2100 г. считается, что выбросы газов, отличных от CO<sub>2</sub>, остаются постоянными на уровне их значений, указанных в сценарии A1B для 2100 г. Перспективные оценки классифицируются в соответствии с уровнем стабилизации CO<sub>2</sub>. Прерывистые линии после 2100 г. показывают наибольшую неопределенность в результатах простой климатической модели после 2100 г. Черные точки обозначают год стабилизации CO<sub>2</sub>. Годом стабилизации для профиля WRE1000 является 2375 г. [На основе рисунка 9.16]

способствовать, вероятно, подъему уровня моря на 3 м через 1000 лет. При потеплении на 8 °C этот вклад составит около 6 м, при этом ледяной покров будет практически уничтожен. В случае меньших уровней потепления разрушение ледового щита будет происходить гораздо медленнее (см. рисунок TP-27).

Существующие динамические модели льда прогнозируют, что Западноантарктический ледовый щит (ЗАЛЩ) будет способствовать подъему уровня моря не более чем на 3 мм/г в течение последующих 1000 лет, даже если произойдут существенные изменения шельфовых ледников. Подобные результаты весьма зависят от модельных допущений в отношении сценариев изменения климата, динамики льда и прочих факторов. Помимо возможности внутренней нестабильности динамики льда таяние поверхности повлияет на долгосрочную жизнеспособность антарктического ледяного покрова. В случае потепления более чем на 10 °C простые модели стока прогнозируют, что на поверхности ледяного покрова образуется зона чистой массовой потери льда. Результатом этого будет безвозвратное разрушение ЗАЛЩ, поскольку он не может отступать в более высокие районы, когда его пограничные края подвергаются поверхностному таянию и начинают отступать. На подобные разрушения потребуются как минимум несколько тысячелетий. Пороговые значения для полного разрушения Восточноантарктического ледового щита в результате поверхностного таяния связано с потеплением выше 20 °C — ситуация, которая не наблюдалась за последние как минимум 15 млн лет и которая достаточно хорошо прогнозировалась любым сценарием изменения климата, который рассматривается в настоящее время.

### Г. Как содействовать лучшему пониманию

В предыдущих разделах было дано описание существующего уровня знаний о климате прошлого и настоящего



**Рисунок ТР-27.** Реагирование Гренландского ледового щита на три сценария климатического потепления в течение третьего тысячелетия, выраженное в эквивалентных изменениях глобального уровня моря. Надписи над кривой линии показывают повышение средней годовой температуры над Гренландией к 3000 г. нашей эры, в том виде, который предсказывается моделью климата и океана в двух измерениях в результате повышения концентраций парниковых газов до 2130 г. с последующей стабилизацией. Необходимо отметить, что прогнозируемые температуры над Гренландией, как правило, выше средних глобальных температур на коэффициент 1,2–3,1 для ансамбля моделей, использованных в главе 11. [На основе рисунка 11.16]

времени, существующего понимания факторов и процессов воздействия в климатической системе и того, насколько точно они могут быть представлены в моделях климата. С учетом существующего сегодня уровня знаний подготовлена самая точная оценка возможности обнаружения изменения климата и объяснения этого изменения влиянием человека. Посредством самых совершенных имеющихся в настоящее время средств были подготовлены перспективные оценки того, каким образом климат мог бы меняться в будущем применительно к различным сценариям выбросов парниковых газов.

В этом разделе дается иной взгляд на будущее. Неопределенности присутствуют на каждом этапе цепочки, начиная от выбросов парниковых газов и аэрозолей и кончая теми последствиями, которые они оказывают на климатическую систему и общество (см. рисунок ТР-28). Многие факторы по-прежнему ограничивают способность обнаруживать, объяснять и понимать текущие изменения климата, а также прогнозировать те будущие изменения климата, которые могут произойти. Необходимо дальнейшая работа в девяти широких областях.

### G.1 Данные

*Прекратить деградацию наблюдательных сетей во многих частях мира.* Пока не произойдет существенного улучшения этих сетей обнаружение изменения климата во многих районах земного шара может оказаться трудным или невозможным.

*Расширить наблюдательную основу для климатических исследований с целью обеспечения точных долгосрочных данных с расширенным временным и пространственным охватом.* Учитывая комплексный характер климатической

системы и свойственную ей многodesятилетнюю временную шкалу, существует необходимость долгосрочных соответствующих данных для оказания поддержки исследованиям и перспективным оценкам, касающимся изменения климата и окружающей среды. Требуются все виды данных: о настоящем времени и недавнем прошлом, связанные с климатом данные о последних нескольких столетиях, а также последних нескольких тысячелетиях. Особенно не хватает данных о полярных регионах и данных для количественной оценки экстремальных величин в глобальном масштабе.

### G.2 Климатические процессы и моделирование

*Более точно оценивать будущие выбросы и концентрации парниковых газов и аэрозолей.* Особенно важно, чтобы эти улучшения касались определения концентраций в результате выбросов газов, и в первую очередь аэрозолей, анализа биогеохимического поглощения и циклических процессов, и, в частности, определения пространственного и временного распределения источников и поглотителей CO<sub>2</sub> как в настоящее время, так и в будущем.

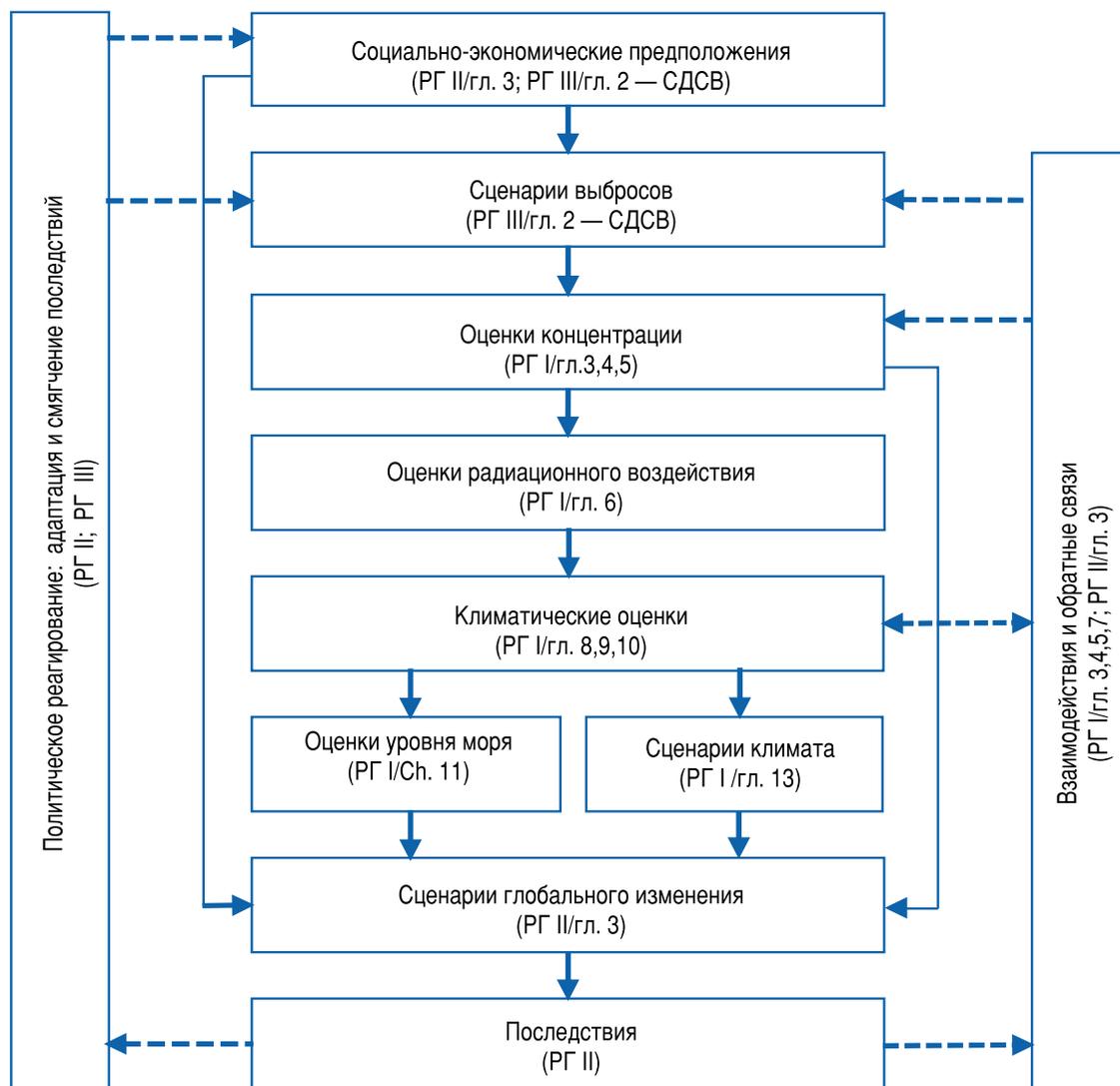
*Понять и охарактеризовать более полным образом доминирующие процессы (например перемешивание в океанах) и обратные связи (например от облаков и морского льда) в атмосфере, биоте, поверхности суши и океана, а также глубинных водах океанов.* Эти подсистемы, явления и процессы имеют важное значение и заслуживают повышенного внимания для общего улучшения прогностического потенциала. Ключом к достижению прогресса будет являться совместное использование данных наблюдений и моделей. Быстрое воздействие нелинейной системы таит в себе высокую вероятность сюрпризов.

Более полно рассматривать модели долгосрочной изменчивости климата. Этот вопрос возникает как в рамках модельных расчетов, так и климатической системы. При проведении имитаций необходимо более ясно понять проблему климатического смещения в расчетах моделей, поскольку это усугубляет трудную задачу по различению «сигнала и помех». В отношении долгосрочной естественной изменчивости климатической системы, как таковой, важно понять эту изменчивость и расширить появляющийся потенциал предсказания конфигураций организованной изменчивости, таких, как ЭНСО.

В более полной мере исследовать вероятностный характер состояний будущего климата посредством разработки многочисленных ансамблей модельных расчетов. Климатическая система — это совмещенная нелинейная хаотическая система и в этой связи невозможным является долгосрочное предсказание точных состояний будущего

климата. Главное внимание необходимо сосредоточить скорее на предсказании распределения вероятностей будущих возможных состояний данной системы посредством разработки ансамблей модельных решений.

Улучшить комплексную структуру моделей глобального и регионального климата с уделением при этом главного внимания повышению точности имитации региональных последствий и экстремальных явлений погоды. Это требует более хорошего понимания совмещенности между основными атмосферными, океаническими и наземными системами, а также активного диагностического моделирования и исследований в области наблюдений, посредством которых осуществляется оценка и усовершенствование имитационного моделирования. Особо важное значение имеет качество данных, используемых для решения вопроса об изменениях в экстремальных явлениях.



**Рисунок ТР-28.** Ансамбль неопределенностей в перспективных оценках, которые необходимо учитывать при разработке климатических и соответствующих сценариев для оценки последствий изменений климата, адаптации к этим изменениям и мер по смягчению их последствий. [На основе рисунка 13.2]

### **G.3 Гуманитарные аспекты**

Связать более конкретным образом физические климатические-биогеохимические модели с моделями системы человека и обеспечить таким образом основу для более широкого исследования возможных причинно-следственных связей между антропогенными и неантропогенными компонентами системы Земли. В настоящее время воздействия человека, как правило, рассматриваются лишь в рамках сценариев выбросов, в которых предусматриваются внешние воздействия на климатическую систему. В будущем потребуются более комплексные модели, в которых деятельность человека необходимо начать связывать с динамикой физических, химических и биологических подсистем через разнообразный набор способствующих видов деятельности, обратных связей и реакций.

### **G.4 Международная рамочная основа**

Ускорить на международном уровне прогресс в области

понимания изменения климата посредством укрепления международной рамочной основы, которая необходима для координации национальных и институциональных усилий, с тем чтобы с максимальной общей выгодой можно было использовать ресурсы в области исследований, расчетов и наблюдений. Элементы этой рамочной основы существуют в международных программах, пользующихся поддержкой Международного совета научных союзов (МСНС), Всемирной Метеорологической Организации (ВМО), Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) и Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО). Имеется соответствующая потребность в укреплении сотрудничества в рамках международного исследовательского сообщества, укреплении исследовательского потенциала многих регионов и, в качестве цели настоящей оценки, эффективного описания исследовательских достижений таким языком, который подходит для процесса принятия решений.

## ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ: ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕЗЮМЕ

В настоящем приложении даются перекрестные ссылки на темы Технического резюме (с указанием страницы и раздела) и разделы глав, в которых содержится более широкая информация по данной теме.

### Раздел А. Введение

Стр. ТР    Раздел и тема Технического резюме — раздел главы

- 23            *А.1 МГЭИК и ее рабочие группы*  
Введение, посвященное Межправительственной группе экспертов по изменению климата (из секретариата МГЭИК, Женева) или на web-странице МГЭИК по адресу <http://www.ipcc.ch>
- 23            *А.2 Первый и Второй доклад об оценках рабочей группы I*  
МГЭИК, 1990 г.: Изменение климата: научная оценка МГЭИК  
Scientific Assessment. J.T. Houghton, G.J. Jenkins, and J.J. Ephraums (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 365 pp.
- IPCC, 1992: Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, J.T. Houghton, B.A. Callander and S.K. Varney (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 198 pp.
- IPCC, 1994: Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris and K. Maslekk (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 339 pp.
- IPCC, 1996a: Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 pp.
- 25            *А.3 Третий доклад об оценках: настоящее Техническое резюме*  
Справочная информация по этим вопросам содержится в главе 1  
Текстовый блок ТР-1: Что вызывает изменение климата? – Глава 1

### Раздел В. Наблюдаемые изменения в климатической системе

Стр. ТР    Раздел и тема Технического резюме – раздел главы

- 27-30        *В.1 Наблюдаемые изменения в температуре*  
Данные о температуре суши и океанов, зарегистрированных приборами – 2.2.2 и 2.3  
Температуры над приземным слоем по данным со спутников и метеорологических шаров - зондов 2.2.3 и 2.2.4  
Приземные температуры в период до начала инструментальных наблюдений, полученные на основе косвенных данных  
Последние 1000 лет – 2.3  
Последний ледниковый период и разрушение ледников – 2.4
- 30            *В.2 Наблюдаемые изменения в количестве атмосферных осадков и во влажности атмосферы*  
Годовые осадки над поверхностью суши – 2.5.2  
Водяной пар – 2.5.3  
Количество облаков – 2.5.5
- 31            *В.3 Наблюдаемые изменения в протяженности снежного покрова и материкового и морского льда*  
Протяженность снежного покрова и материкового льда – 2.5.2  
Протяженность морского льда – 2.5.3  
Толщина арктического морского льда – 2.5.5.
- 31-32        *В.4 Наблюдаемые изменения в уровне моря*  
Изменения в период, за который имеются приборные данные  
Данные футштока за XX век – 11.3.2  
Текстовый блок ТР-2: Что вызывает изменение уровня моря? – 11.2  
Изменения в период до начала инструментальных наблюдений – 11.3.1
- 33            *В.5 Наблюдаемые изменения в структурах атмосферной и океанической циркуляции*  
Эль-Ниньо/южное колебание (ЭНСО) – 2.6.2 и 2.6.3  
Североатлантическое, арктическое и антарктическое колебание — разделы 2.6.5 и 2.6.6

34 *V.6 Наблюдаемые изменения в изменчивости климата и в экстремальных метеорологических и климатических явлениях*  
Сильные и экстремальные осадки – 2.7.2  
Тропические и внетропические штормы – 2.7.3.

34 *V.7 Обобщенная картина: потепление на земном шаре и другие изменения в климатической системе*  
Более теплый мир – 2.8  
Незначительное или нулевое изменение – 2.2.5 и 2.7.3

### **Раздел C. Воздействующие факторы, вызывающие изменение климата**

*Стр. ТР Раздел и тема Технического резюме — раздел главы*

38 *C.1 Наблюдаемые изменения в концентрациях полностью перемешанных в глобальном масштабе парниковых газов и радиационного воздействия*

Двуокись углерода – 3.2.2, 3.2.3, 3.3.1, 3.3.2 и 3.5, 6.13

Метан – 4.2.1, 6.13

Закись азота – 4.2, 6.13

Галоидуглероды и родственные соединения – 4.2.2, 6.13

44 *C.2 Наблюдаемые изменения в других радиационно значимых газах*

Атмосферный озон – 4.2.2 и 4.2.4, 6.13

Газы только с косвенным радиационным воздействием – 4.2.3, 6.13

46 *C.3 Наблюдаемые и смоделированные изменения в аэрозолях*

Наблюдающиеся и смоделированные изменения в аэрозолях – 5.1, 5.2, 5.3 и 5.4, 6.7 и 6.8

47 *C.4 Наблюдаемые изменения в других антропогенных воздействующих факторах*

Изменения в землепользовании (альбедо) – раздел 6.13

47 *C.5 Наблюдаемые и смоделированные изменения в солнечной и вулканической активности*

Наблюдающиеся и смоделированные изменения в солнечной и вулканической активности – 6.10

47 *C.6 Возможности глобального потепления*  
Потенциальные возможности глобального потепления – 6.12

### **Раздел D. Моделирование климатической системы и ее изменений**

*Стр. ТР Раздел и тема Технического резюме — раздел главы*

49 *D.1 Климатические процессы и обратные связи*

Текстовый блок ТР-3: Климатические модели: каким образом они строятся и применяются? – 8.3

Водяной пар – 7.2.1

Облака – 7.2.2 и 7.2.3, глава 8.5.1

Стратосфера – 7.2.4 и 7.2.5, 8.5.1

Океан – 7.3, 8.5.2

Криосфера – 7.5, 8.5.3

Земная поверхность – 7.4, 8.5.4

Цикл углерода – 3.6

53 *D.2 Совмещенные системы*

Режимы естественной изменчивости – 7.6, 8.7

Текстовый блок ТР-4: Явление Эль-Ниньо/южное колебание (ЭНСО) – 7.6.5, 8.7.1

Термогалинная циркуляция – 7.3.7 и 7.7, 9.3.4

Нелинейные события и быстрое изменение климата – 7.7

55 *D.3 Методы районирования*

Категории методов – 10.1, 10.2, 13

МОЦАО с крупной разрешающей способностью – 10.3, 13

МОЦА с высокой разрешающей способностью – 10.5, 13

55 *D.4 Общая оценка способностей*

Корректировка потока – 7.2, 7.3 и 7.6, 8.4 и 8.9

Климат в XX веке – 8.6

Экстремальные явления – 8.8

Межгодовая изменчивость – 8.7

Взаимные сравнения моделей – 8.6.2 и 8.10

### **Раздел E. Обнаружение влияния деятельности человека на изменение климата**

*Стр. ТР Раздел и тема Технического резюме — раздел главы*

57 *E.1 Значение обнаружения и объяснения*

Обнаружение/объяснение – 12.1.1 и 12.2

57 *E.2 Более продолжительная и более тщательная проверка зарегистрированных данных наблюдений*

Три из последних пяти лет – 12.2.1

57 *E.3 Новые модельные оценки внутренней изменчивости*

Потепление за последние 100 лет – 12.2.2

58	<i>E.4 Новые оценки реакций на естественное воздействие</i> Только естественное воздействие – 12.2.3	66	<i>F.3 Перспективные оценки будущих изменений температуры</i> Результаты МОЦАО – 9.3 Результаты простых климатических моделей – 9.3
58	<i>E.5 Чувствительность к оценкам проявлений изменения климата</i> Реакции на антропогенное воздействие – 12.2.3 Существенный компонент в виде деятельности антропогенного происхождения – 12.2.3	70	<i>F.4 Перспективные оценки будущих изменений осадков</i> Глобально усредненные осадки и изменчивость – 9.3
59	<i>E.6 Более широкий диапазон методов обнаружения</i> Температура – 12.3 и 12.4 Уровень моря – 11.4	70	<i>F.5 Перспективные оценки будущих изменений в экстремальных явлениях</i> Изменения в экстремальных явлениях – 9.3.6
61	<i>E.7 Остающиеся неопределенности в обнаружении и объяснении</i> Резюме – 12.5	72	<i>F.6 Перспективные оценки будущих изменений в термогалинной циркуляции</i> Ослабление термогалинной циркуляции – 9.3.4
61	<i>E.8 Резюме</i> Большая часть наблюдаемого за последние 50 лет потепления – раздел 12.6	73	<i>F.7 Перспективные оценки будущих изменений в моделях естественной изменчивости</i> Изменения в моделях естественной изменчивости – 9.3.5
		74	<i>F.8 Перспективные оценки будущих изменений материкового льда (ледников, ледниковых куполов и ледовых щитов), морского льда и снежного покрова</i> Ледники, ледниковые куполы и ледовые щиты – 11.5.4
<b>Раздел F. Перспективные оценки будущего климата Земли</b>			
<i>Стр. ТР</i>	<i>Раздел и тема Технического резюме — раздел главы</i>		
61	<i>F.1 Специальный доклад МГЭИК о сценариях выбросов (СДСВ)</i> Сценарии СДСВ – 6.15.2, Доклад СДСВ Текстовый блок ТР-5: Сценарии выбросов Специального доклада о сценариях выбросов (СДСВ) – 6.15.2, Доклад СДСВ, приложение II	75	<i>F.9 Перспективные оценки будущих изменений уровня моря</i> Глобальные средние изменения уровня моря – 11.5.1 Региональные изменения уровня моря – раздел 11.5.2 Экстремальные величины уровня моря – раздел 11.5.3
64	<i>F.2 Перспективные оценки будущих изменений в концентрациях парниковых газов и аэрозолей</i> Траектории концентрации CO <sub>2</sub> – 3.3 и 3.7, приложение II Запас углерода в наземных экосистемах – 3.2 и 3.6 Избыток парниковых газов, отличных от CO <sub>2</sub> – 4.3, 6.15, приложение II Косвенные выбросы парниковых газов и химия атмосферы – 4.4.4 и 4.4.5, 6.15 Выбросы косвенных парниковых газов и качество воздуха – 4.4.5 Зависимость избытка аэрозолей от выбросов – 5.5, 6.15, приложение II Прогнозируемые выбросы аэрозолей и сценарии СДСВ – 5.5 Радиационное воздействие – 6.15, приложение II	75	<i>F.10 Перспективные оценки будущих изменений реагирования на профили стабилизации концентрации CO<sub>2</sub></i> Парниковые газы и аэрозоли – 3.7.3 Температура – 9.3.3 Уровень моря – 11.5.4
<b>Раздел G. Как содействовать лучшему пониманию</b>			
<i>Стр. ТР</i>	<i>Раздел и тема Технического резюме — раздел главы</i>		
		78	<i>G.1 Данные</i> Деградация наблюдательных сетей и система наблюдений – 14.2.1
		78	<i>G.2 Климатические процессы и моделирование</i> Парниковые газы и аэрозоли – 14.2.6

Процессы – 14.2.3  
Модели изменчивости – 14.2.2  
Ансамбли модельных результатов – 14.2.2  
Организационная структура моделей – 14.2.2 80

80 *G.3 Гуманитарные аспекты*

Физическая система/гуманитарная система –  
14.3, 13.1

*G.4 Международная рамочная основа*  
Координация – 14.4

# Глоссарий

Редактор: А. П. М. Баеде

Знак: → означает, что следующий термин также содержится в настоящем Глоссарии.

Не все слова, содержащиеся в Глоссарии, фигурируют в Резюме для лиц, определяющих политику, или Техническом резюме.

## **Автотрофное дыхание**

См.: → Дыхание фотосинтетических организмов (растения).

## **Альбедо**

Часть солнечной радиации, отраженная от поверхности или предмета, часто выражаемая в процентах. Покрытые снегом поверхности обладают высоким альбедо; альбедо различных почв варьируется от высокого до низкого; поверхности покрытые растительностью, и океаны имеют низкое альбедо. Альбедо Земли меняется главным образом вследствие изменений: облачности, снега, льда, поверхности ледяной и земного покрова.

## **Альтиметрия**

Техника определения подъема поверхности моря, земли или льда. Например, высота поверхности моря (по отношению к центру Земли или, более обычно, в отношении стандарта «эллипсоида вращения») может определяться из космоса при помощи самой современной радиолокационной альтиметрии с сантиметровой точностью. Альтиметрия обладает преимуществом осуществления измерения относительно геоцентрической системы отсчета, а не относительно уровня земли, как для → футштока, а также обеспечения практически глобального охвата.

## **Антропогенный**

Являющийся результатом или продуктом деятельности человека.

## **Атмосфера**

Воздушная среда вокруг Земли. Сухая атмосфера почти полностью состоит из азота (коэффициент объемной концентрации 78,1 %) и кислорода (коэффициент объемной концентрации 20,9 %), а также, ряда газов с малой концентрацией, таких, как аргон (коэффициент объемной концентрации 0,93 %), гелий и таких радиоактивных парниковых газов, как двуокись углерода (коэффициент объемной концентрации 0,035 %) и озон. Кроме того, атмосфера содержит водяной пар, количество которого колеблется в широком диапазоне, но коэффициент объемной концентрации которого составляет обычно 1 %. Атмосфера содержит также облака и → аэрозоли.

## **Аэрозоли**

Совокупность взвешенных твердых или жидких частиц с характерным размером от 0,01 до 10 мкм, сохраняющихся в атмосфере в течение, как минимум, нескольких часов. Аэрозоли могут быть либо естественного, либо антропогенного происхождения. Они могут влиять на климат двумя путями: непосредственно рассеивая и поглощая радиацию, и косвенно, действуя в качестве ядра конденсации при образовании облаков или изменяя оптические свойства и срок жизни облаков. См.: Косвенный эффект аэрозолей.

Этот термин стали также ошибочно связывать с газом-вытеснителем, используемым в «аэрозольных распылителях».

## **Биомасса**

Общая масса живых организмов на заданной площади, или в заданном объеме; недавно погибший растительный материал нередко учитывается в качестве мертвой биомассы.

## **Биосфера (наземная и морская)**

Часть системы планеты Земля, представляющая собой совокупность всех → экосистем и живых организмов в атмосфере, на суше (наземная биосфера) или в океанах (морская биосфера), включая производное мертвое органическое вещество, как-то: подстилка, органическое вещество почвы и океанический детрит.

## **Бремя**

Общая масса вызывающего беспокойство газообразного вещества в атмосфере.

## **Быстрое изменение климата**

→ Нелинейность → климатической системы может привести к быстрому изменению климата, которое иногда называют внезапными событиями или даже сюрпризами. Некоторые из подобных внезапных событий могут быть мнимыми, такие, как существенная реорганизация → термогалинной циркуляции, быстрая дегляциация или обширное таяние вечной мерзлоты, ведущее к быстрым изменениям в → цикле углерода. Другие изменения могут действительно оказаться неожиданными и являться следствием мощного, быстро меняющегося воздействия нелинейной системы.

## **Валовое первичное производство (ВПП)**

Установленное количество углерода, изъятая из атмосферы посредством → фотосинтеза.

## **Влажность почвы**

Вода, которая хранится в почве или на поверхности земли и используется для испарения.

## **Внешнее воздействие**

См.: → Климатическая система.

## **Внутренняя изменчивость**

См.: → Изменчивость климата.

## **Восстановление после деформации в послеледниковый период**

Вертикальное смещение континентов и морского дна после исчезновения или сокращения → ледовых щитов, например после последнего ледникового максимума (21 ка BP). Восстановление после деформации — это → изостатическое движение земли.

### **Временное климатическое реагирование**

Глобально усредненное повышение приземной температуры воздуха, усредненное за 20-летний период, центрированное во время удвоения концентрации  $\text{CO}_2$ , т. е. в 70-м году при однопроцентном годовом экспериментальном увеличении составляющей  $\text{CO}_2$  с глобально совмещенной → моделью климата.

### **Время адаптации**

См.: → Продолжительность жизни; см. также: → Время реагирования.

### **Время оборота**

См.: → Продолжительность жизни.

### **Время реагирования**

Время реагирования или время адаптации — это время, которое необходимо для того, чтобы → климатическая система или ее компоненты восстановили равновесие применительно к новому состоянию после того, как на них было оказано воздействие в результате внешних и внутренних процессов или → обратных связей. Оно является весьма различным для различных компонентов климатической системы. Время реагирования → тропосферы является относительно коротким — от дней до недель, в то время → стратосфера достигает равновесного состояния во временном масштабе, обычно составляющем несколько месяцев. Ввиду их значительной тепловой емкости океаны характеризуются гораздо более длительным временем реагирования — как правило, десятилетиями, но иногда и столетиями или тысячелетиями. Таким образом, время реагирования весьма совмещенной системы поверхность-тропосфера является незначительным по сравнению со временем реагирования стратосферы и определяется главным образом океанами. → Биосфера может реагировать быстро, например на засухи, однако также весьма медленно на изменения вынужденного характера.

См. → Период жизни для иного определения времени реагирования, соответствующего темпам процессов, влияющих на концентрацию назначительных газовых примесей.

### **Выбросы ископаемого $\text{CO}_2$ (двуокиси углерода)**

Выбросы  $\text{CO}_2$  в результате сжигания топлива в месторождениях ископаемого углерода, таких, как: нефть, газ и уголь.

### **Галогенированные углеродные соединения**

Соединения, содержащие либо хлор, бром или фтор и углерод. Подобные соединения могут действовать в качестве мощных → парниковых газов в атмосфере. Галогенированные углеродные соединения, содержащие хлор и бром, также влияют на истощение → озонового слоя.

### **Геоид**

Поверхность, которую океан единообразной плотности занял бы, согласно предположениям, в случае его стабильного и спокойного состояния (т. е. без какой-либо циркуляции в океанах или каких-либо прикладных факторов, отличных от силы притяжения Земли). Из этого следует, что геоидом будет

поверхность постоянного гравитационного потенциала, которая может служить в качестве ориентировочной поверхности, с которой могут сопоставляться любые поверхности (например, средняя поверхность моря). Геоид (и поверхности, параллельные геоиду) — это то, что мы называем «поверхностями уровня».

### **Гетеротрофное дыхание**

Выделение  $\text{CO}_2$  в результате разложения органического вещества.

### **Гидросфера**

Компонент климатической системы, включающий жидкую поверхность и подземные воды, как-то: океаны, моря, реки, пресноводные озера, подземные воды и т. д.

### **Глобальная поверхностная температура**

Глобальная поверхностная температура — это пространственно взвешенная средняя глобальная величина (i) температуры поверхности моря по сравнению с океанами (т.е. общая подповерхностная температура в первых нескольких метрах океана) и (ii) приземная температура воздуха на высоте 1,5 м выше поверхности суши.

### **Градусо-дни отопления**

Рассчитываются по дням с температурой ниже 18 °C (например, день со средней температурой 16 °C засчитывается как два градусо-дня отопления).

См. также: → Градусо-дни теплого сезона.

### **Градусо-дни теплого сезона**

Рассчитываются по дням с температурой выше 18 °C (например, день со средней температурой 20 °C засчитывается как два градусо-дня теплого сезона). См. также: → Градусо-дни отопления.

### **Двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ )**

Газ естественного происхождения, а также побочный продукт сжигания ископаемого топлива и → биомассы, также как и → изменений в землепользовании и прочих промышленных процессов. Это — основной антропогенный → парниковый газ, который воздействует на радиационный баланс Земли. Это — эталонный газ, по которому измеряются другие парниковые газы и который имеет, соответственно, → потенциал глобального потепления, равный 1.

### **Доиндустриальный**

См.: → Промышленная революция.

### **Дыхание**

Процесс, в ходе которого живые организмы преобразуют органическое вещество в  $\text{CO}_2$ , выделяя при этом энергию и поглощая  $\text{O}_2$ .

### **Единица Добсона (ЕД)**

Единица измерения общего количества озона в вертикальном столбе над поверхностью Земли. Количество единиц

Добсона — это толщина единиц, равная  $10^{-5}$  м, которую столб озона занимал бы в том случае, если он был сжат в слой с одинаковой плотностью при давлении 1013 гПа при температуре 0 °С. Одна ЕД соответствует столбу озона, содержащему  $2,69 \times 10^{20}$  молекул на квадратный метр. Характерным показателем количества озона в столбе атмосферы Земли, хотя и со значительными колебаниями, является величина в 300 ЕД.

### **Запас**

См.: →Накопитель

### **Землепользование**

Совокупность мер, деятельности и средств производства, действующих на определенном типе земного покрова (совокупность деятельности человека). Социально-экономические цели, в которых ведется деятельность на земле (т. е.: выпас животных, производство строевого леса, рациональное использование природных ресурсов).

### **Значимая высота волны**

Средняя высота одной трети всех самых высоких морских волн, наблюдавшихся в конкретный период времени. Эта величина служит в качестве показателя характерного размера самых высоких волн.

### **Изменения в землепользовании**

Изменения в использовании земли или управление ею со стороны человека, которые могут привести к изменению земного покрова. Изменения в земном покрове и землепользовании могут иметь последствия для →альбедо, →эвапотранспирации, →источников и →поглотителей →парниковых газов или других характеристик →климатической системы и могут, таким образом, иметь последствия для климата в местном или глобальном масштабах. См. также: Доклад МГЭИК — Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство (МГЭИК, 2000 г.).

### **Изменение евстатического уровня моря**

Изменение среднего глобального уровня моря, вызванное изменением объема Мирового океана. Он может быть вызван изменениями в плотности воды или общей массы воды. При обсуждениях изменений в геологических временных масштабах этот термин иногда означает также изменения среднего глобального уровня моря, вызванные изменением контуров океанских бассейнов. В настоящем докладе данный термин в этом смысле не используется.

### **Изменение климата**

Изменение климата означает статистически значимую вариацию либо среднего состояния климата или его изменчивости, сохраняющуюся в течение продолжительного периода времени (обычно десятилетия или более того). Изменение климата может быть вызвано естественными внутренними процессами или внешними воздействиями, или постоянными антропогенными изменениями в составе атмосферы или в землепользовании.

Следует отметить, что в статье 1 →Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН) «изменение климата» определяется как: «изменение климата, которое прямо или косвенно обусловлено деятельностью человека, вызывающей изменения в составе глобальной атмосферы, и которая накладывается на естественные колебания климата, наблюдаемые на протяжении сопоставимых периодов времени». Таким образом, в РКИК ООН проводится различие между «изменением климата», обусловленным деятельностью человека, вызывающей изменения в составе атмосферы, и «изменчивостью климата», обусловленной естественными причинами. См. также: →Изменчивость климата.

### **Изменчивость климата**

Изменчивость климата означает колебания в среднем состоянии и в других статистических данных (таких, как стандартные отклонения, возникновение экстремальных явлений и т. д.) климата во всех временных и пространственных масштабах, выходящих за пределы отдельных метеорологических явлений. Изменчивость может быть вызвана естественными внутренними процессами в рамках климатической системы (внутренняя изменчивость) или колебаниями естественного или антропогенного внешнего воздействия (изменчивость под внешним воздействием). См. также: →Изменение климата.

### **Изостатические передвижения суши**

Изостазия означает способ реагирования →литосферы и мантии Земли на изменения в поверхностных нагрузках. В случае изменения нагрузки литосферы в результате изменений массы материкового льда, массы океана, седиментации, эрозии или образования гор, происходит изостатическая перестройка, направленная на сбалансирование новой нагрузки.

### **Инфракрасное излучение**

Излучение, испускаемое земной поверхностью, атмосферой и облаками. Известно также в качестве наземной или длинноволновой радиации. Инфракрасное излучение имеет отчетливый диапазон длины волн («спектр»), превышающий длину волны красного цвета в видимой части спектра. Спектр инфракрасного излучения практически отличается от спектра →солнечного или коротковолнового излучения вследствие различия в температуре между Солнцем и системой Земля-атмосфера.

### **Источник**

Любой процесс, вид деятельности или механизм, которые выбрасывают в атмосферу парниковый газ, аэрозоль или предшествующие парниковому газу или аэрозоли соединения.

### **Киотский протокол**

Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН) был принят на третьей сессии Конференции Сторон (КС) →Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций

об изменении климата в 1997 г. в Киото, Япония. Он содержит юридически обязательные положения в дополнение к тем, которые были включены в РКИК ООН. Страны, включенные в приложение В Протокола (большинство стран ОЭСР и страны с переходной экономикой) согласились снизить свои антропогенные выбросы парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{ГФУ}$ ,  $\text{ПФУ}$  и  $\text{SF}_6$ ) по меньшей мере на 5 % по сравнению с уровнями 1990 г. в период действия обязательств с 2008 г. по 2012 г. Киотский протокол еще не вступил в силу (по состоянию на ноябрь 2000 г.).

### Климат

В узком смысле климат обычно определяется как «средний режим погоды» или, в более строгом варианте, как статистическое описание с точки зрения средних значений и изменчивости соответствующих количественных показателей за период времени, от нескольких месяцев до тысяч или миллионов лет. Согласно определению Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) классический период составляет 30 лет. Эти количественные показатели в большинстве случаев представляют собой приземные переменные параметры, такие, как температура, осадки и ветер. В более широком смысле климат — это состояние климатической системы, включая его статистическое описание.

### Климатическая система

Климатическая система — это весьма сложная система, состоящая из пяти основных компонентов: атмосферы, гидросферы, криосферы, земной поверхности и биосферы, а также взаимоотношений между ними. Эволюция климатической системы во времени происходит под влиянием ее собственной внутренней динамики и внешних воздействующих факторов, как-то: извержения вулканов, колебания солнечного излучения и деятельность человека, приводящая к изменениям в составе атмосферы и в землепользовании.

### Климатические обратные связи

Механизм взаимодействия между процессами, происходящими в климатической системе, именуется климатическими обратными связями в том случае, когда исходный процесс инициирует изменения во втором процессе, который, в свою очередь, влияет на исходный процесс. Позитивные обратные связи усиливают первоначальный процесс, а негативные обратные связи ослабляют его.

### Климатический сценарий

Вероятное и часто упрощенное представление будущего климата, основанное на внутри согласованном наборе климатологических взаимосвязей, которое было построено для четкого использования при изучении потенциальных последствий антропогенного изменения климата, часто служащего исходным фактором для моделей последствий. Перспективные оценки климата часто служат исходным материалом для построения климатических сценариев, однако подобные сценарии обычно требуют дополнительной информации, например о наблюдаемом в настоящее время

климате. *Сценарий изменения климата* — это различие между климатическим сценарием и климатом в данное время.

### Комплексная оценка

Метод анализа, объединяющий результаты и модели из физических, биологических, экономических и общественных наук, также, как и взаимосвязи между этими компонентами, в последовательную общую схему для оценки состояния и последствий изменения в окружающей среде и политики реагирования на него.

### Корректировка потока

Для того чтобы не допустить проблемы сдвига совмещенных моделей общей циркуляции системы атмосфера-океан в некоторое нереальное состояние климата могут применяться переходные термины для обозначения потоков тепла и влажности в системе атмосфера-океан (и в некоторых случаях поверхностных напряжений, являющихся результатом воздействия ветра на поверхность океана) до того, как эти потоки накладываются на модель океана и атмосферы. Поскольку эти корректировки заранее рассчитаны и в этой связи независимы от интеграции совмещенных моделей, они не взаимосвязаны с аномалиями, которые развиваются в процессе интеграции. В главе 8 настоящего доклада делается вывод о том, что существующие модели в меньшей мере нуждаются в корректировке потока.

### Косвенный аэрозольный эффект

Аэрозоли могут вызывать косвенное радиационное воздействие на климатическую систему, являясь ядром конденсации и изменяя оптические свойства и продолжительность жизни облаков. Различаются два косвенных эффекта:

#### Первый косвенный эффект

Радиационное воздействие, вызванное повышением концентрации антропогенных аэрозолей, которые вызывают первоначальное увеличение концентраций капель и уменьшение их размера для фиксированного количества воды в жидком состоянии, что ведет к повышению альбедо облаков. Этот эффект известен также под названием *эффекта Твоменя*. В некоторых случаях он упоминается в качестве *эффекта облачного альбедо*. Это вводит, однако, в сильное заблуждение, поскольку второй косвенный эффект также меняет альбедо облаков.

#### Второй косвенный эффект

Радиационное воздействие, вызванное повышением концентрации антропогенных аэрозолей, которое вызывает уменьшение размера капелек, снижая эффективность осадков, изменяя таким образом количество воды в жидком состоянии, толщину облаков и продолжительность их жизни. Этот эффект известен также под названием *эффекта продолжительности жизни облаков* или *эффекта Альбрехта*.

### Косвенный показатель

Косвенный показатель климата — это местная регистрация данных, которые толкуются с использованием физических и

биофизических принципов в целях представления определенного сочетания связанных с климатом колебаний в обратном временном направлении. Полученные таким образом связанные с климатом данные именуются косвенными данными. Примерами косвенных данных являются: регистрации колец деревьев, характеристики кораллов и различные данные, полученные при помощи кернов льда.

#### *Коэффициент объемного перемешивания*

См.: →Относительное количество грамм-молекул.

#### *Коэффициент перемешивания*

См.: →Относительное количество грамм-молекул.

#### *Криосфера*

Компонент →климатической системы, включающий весь снег, лед и вечную мерзлоту на поверхности земли и океана и под ними. См.: →Ледник; ледовый щит.

#### *Ла-Нинья*

См.: →Явление Эль-Нинья/южное колебание.

#### *Ледник*

Масса наземного льда, передвигающаяся в нижнем направлении (в результате внутренней деформации и скольжения в основании) и ограниченная окружающей топографией, например боковыми склонами долины или окружающими пиками гор; топография оказывает основное влияние на динамику и покатость поверхности ледника подстилающих пород. Ледник поддерживается накоплением снега на больших высотах, уравнивается таянием льда на более низких высотах или сходом льда в море.

#### *Ледниковый купол*

Куполообразная масса льда, покрывающая горные районы, которая по своей протяженности меньше чем →ледовый щит.

#### *Ледовый щит*

Масса наземного льда, достаточно глубокая для покрытия большей части рельефа коренных пород, в связи с чем ее конфигурация определяется главным образом ее внутренней динамикой (движением льда по мере его внутренней деформации и скольжения в его основании). Ледовый щит движется во внешнем направлении из высокой центральной части плато с незначительным средним уклоном поверхности. Края характеризуются резким уклоном и лед сбрасывается через быстро передвигающиеся потоки льда или ледниковые выходы в некоторых случаях в море или в плавающие в море шельфовые ледники. В современном мире имеется лишь два крупных ледовых щита — в Гренландии и Антарктике, при этом Антарктический ледовый щит делится на восточную и западную части Трансантарктическими горами; во время ледниковых периодов были и другие щиты.

#### *Лес*

Тип растительности с преобладанием деревьев. В мире существует много определений термина «лес», отражающих

значительные различия в биогеофизических условиях, социальной структуре и экономике. Обсуждение термина «лес» и связанных с ними терминов, таких, как →облесение, →лесовосстановление и →обезлесивание: см. доклад МГЭИК — Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство (МГЭИК, 2000 г.).

#### *Лесовозобновление*

Посадка лесов на землях, на которых раньше были леса, но которые были преобразованы для других видов использования. Обсуждение термина →лес и связанных с ним терминов, таких, как →облесение, лесовозобновление и →обезлесивание: см. доклад МГЭИК — Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство (МГЭИК, 2000 г.).

#### *Линия/зона оседания*

Место соприкосновения между →ледовым щитом и →шельфовым ледником или то место, в котором лед начинает превращаться в плавучую массу.

#### *Литосфера*

Внешняя сфера «твердой» Земли, в том числе континентальной и океанической, которая охватывает всю кору и холодную, главным образом эластичную, часть верхней мантии. Вулканическая деятельность, хотя и является частью литосферы, не считается частью →климатической системы, однако выступает в качестве внешнего фактора воздействия. См.: →Изостатические движения земли.

#### *Млн<sup>-1</sup>, млрд<sup>-1</sup>, трлн<sup>-1</sup>*

См.: →Доля грамм-молекул.

#### *Модель климата (иерархия)*

Численное представление →климатической системы, основанное на физических, химических и биологических свойствах ее компонентов, их взаимодействиях и процессах обратных связей, и объясняющее все или некоторые из ее известных свойств. Климатическая система может быть представлена моделями различной сложности, т. е. иерархия модели может быть определена для любого компонента или совокупности компонентов, различающихся по таким аспектам, как количество пространственных факторов, степень четкости представления физических, химических или биологических процессов, или уровень применения эмпирической →параметризации. Совмещенные модели общей циркуляции системы атмосфера-океан-морской лед (МОЦАО) обеспечивают всеобъемлющее представление климатической системы. Развитие идет в направлении более сложных моделей, учитывающих активные химические и биологические процессы. Модели климата применяются в качестве инструмента исследований для изучения и моделирования климата, а также для оперативных целей, включая разработку ежемесячных, сезонных и межгодовых →предсказаний климата.

#### *Модель общей циркуляции (МОЦ)*

См.: →Модель климата.

### Монреальский протокол

Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой, был принят в Монреале в 1987 г., после чего в него вносились коррективы и поправки в Лондоне (1990 г.), Копенгагене (1992 г.), Вене (1995 г.), Монреале (1997 г.) и Пекине (1999 г.). Он регулирует потребление и производство химических веществ, содержащих хлор и бром, которые разрушают стратосферный озон, а именно: ХФУ, метилхлороформ, четыреххлористый углерод и многих других веществ.

### Накопитель

Компонент →климатической системы, иной нежели атмосфера, обладает способностью хранить, накапливать или высвобождать какое-либо из рассматриваемых здесь веществ, например, углерод, →парниковый газ или →прекурсор. Океаны, почвы и →леса являются примерами накопителей углерода. Эквивалентом этого термина является понятие «резервуар», (отметим, что определение понятия «резервуар» часто включает и атмосферу). Абсолютное количество вызывающего озабоченность вещества, находящегося в накопителе в конкретное время, называется запасом.

### Нелинейность

Процесс именуется «нелинейным» в случае отсутствия какой-либо прямо пропорциональной связи между причиной и следствием. →Климатическая система включает многочисленные подобные нелинейные процессы, результатом чего является система, характеризующаяся потенциальным весьма сложным поведением. Подобная сложность может привести к →быстрому изменению климата.

### Неопределенность

Выражение степени, в которой какая-либо величина (например будущее состояние климатической системы) является неизвестной. Неопределенность может быть следствием недостатка информации или разногласия о том, что известно или даже, что познаваемо. Источники неопределенности могут быть самыми разными — от поддающихся количественному определению ошибок в данных, до нечетко определенных концепции или терминов, или неопределенностей в прогнозах поведения человека. Неопределенность соответственно может быть представлена как количественными показателями (например диапазоном значений, рассчитанных с помощью различных моделей), так и качественными заявлениями (например отражающими суждения какой-либо группы экспертов). См. Moss and Schneider (2000).

### Обезлесивание

Сведение лесов. Обсуждение термина «лес» и связанных с ним терминов, таких, как →облесение, →лесовозобновление и →обезлесивание см. в Специальном докладе МГЭИК — Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство (МГЭИК, 2000 г.).

### Облесение

Посадка новых лесов на землях, на которых исторически не было лесов. Обсуждение термина →лес и родственных

терминов, таких, как: облесение, →лесовозобновление и →обезлесивание: см. в Специальном докладе МГЭИК — Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство (МГЭИК, 2000 г.).

### Обнаружение и объяснение

Климат постоянно меняется во всех временных масштабах. *Обнаружение* →изменения климата — это процесс демонстрации того, что климат изменился в некотором определенном статистическом смысле без объяснения причины подобного изменения. *Объяснение* причин изменения климата — это процесс установления наиболее вероятных причин выявленного изменения с некоторой определенной степенью достоверности.

### Обогащение азотом

Активизация роста растений посредством добавок азотных соединений.

В докладах МГЭИК это, как правило, касается внесения удобрений из антропогенных источников азота, таких, как изготовленные человеком удобрения и закись азота, выбрасываемая в результате сжигания ископаемых видов топлива.

### Обогащение атмосферы CO<sub>2</sub>

См. Обогащение атмосферы двуокисью углерода (CO<sub>2</sub>).

### Обогащение атмосферы двуокисью углерода (CO<sub>2</sub>)

Ускорение роста растений в результате повышения концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере. В зависимости от их механизма →фотосинтеза определенные виды растений являются более чувствительными к изменениям концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере. В частности, →C<sub>3</sub>-растения, как правило, в большей мере реагируют на CO<sub>2</sub>, →C<sub>4</sub>-растения.

### Обратное моделирование

Математическая процедура, при помощи которой исходные данные модели оцениваются исходя скорее из наблюдаемого результата, а не наоборот. Она применяется, например, для оценки местонахождения и мощности источников и поглотителей CO<sub>2</sub>, исходя из результатов измерений распределения концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере, данных моделей глобального →цикла углерода, и для расчета атмосферного переноса.

### Обратная связь

См.: →Климатическая обратная связь.

### Общая циркуляция

Крупномасштабные передвижения атмосферы и океана в результате различного нагрева вращающейся Земли, направленные на восстановление →энергетического баланса системы посредством передачи тепла и импульса движения.

### Объяснение

См.: →Обнаружение и объяснение.

### Озон

Озон — трехатомная разновидность водорода (O<sub>3</sub>) — это газообразный компонент атмосферы. В →тропосфере он

образуется в результате естественных и фотохимических реакций, в которых участвуют газы антропогенного происхождения («смог»). При высоких концентрациях тропосферный озон может пагубно воздействовать на широкий диапазон живых организмов. Тропосферный озон действует в качестве →парникового газа. В →стратосфере он образуется в результате взаимодействия между ультрафиолетовым излучением солнца и молекулярным кислородом ( $O_2$ ). Стратосферный озон имеет исключительно важное значение для поддержания радиационного баланса стратосферы. Его концентрация является наивысшей в →озоновом слое.

### Озоновая дыра

См.: →Озоновый слой.

### Озоновый слой

→Стратосфера содержит слой, в котором концентрация озона является наивысшей — так называемый озоновый слой. Протяженность этого слоя составляет порядка 12—40 км. Концентрация озона достигает максимальной величины в районе от 20 до 25 км. Этот слой истощается в результате антропогенных выбросов соединений хлора и брома. Ежегодно в весенний период в южном полушарии над Антарктическим регионом наблюдается весьма сильное истощение озонового слоя, которое вызывается антропогенными соединениями хлора и брома в сочетании со специфическими метеорологическими условиями этого региона. Это явление получило название «озоновой дыры».

### Опустынивание

Деграция земель в засушливых, полусушливых и сухих субгумидных районах в результате действия различных факторов, включая колебания климата и деятельность человека. Кроме того, в Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием деграция земель определяется как снижение или потеря биологической и экономической продуктивности и сложной структуры богарных пахотных земель, орошаемых пахотных земель или пастбищ, лесов и лесистых участков в засушливых, полусушливых или сухих субгумидных районах в результате землепользования или действия одного или совокупности процессов, в том числе связанных с деятельностью человека и структурами его расселения, таких, как: (i) ветровая и/или водная эрозия почв; (ii) ухудшение физических, химических и биологических или экономических свойств почв; и (iii) долгосрочная потеря естественного растительного покрова. (Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием).

### Организационная структура модели

См.: →Модель климата.

### Органический аэрозоль

→Аэрозольные частицы, состоящие главным образом из органических соединений, главным образом С, Н, О, и меньшего количества других элементов. (Источник: Charlson and Heintzenberg, 1995, с. 405) См.: →Углеродистый аэрозоль.

### (Относительное) вековое изменение уровня моря

Долгосрочные изменения относительного уровня моря, вызванные либо →евстатическими изменениями, например →тепловым расширением или изменениями в вертикальных передвижениях суши.

### Относительное количество грамм-молекул

Относительно количество грамм-молекул или коэффициент перемешивания — это отношение количества грамм-молекул составляющего вещества в данном объеме к общему количеству грамм-молекул всех составляющих в этом объеме. Обычно приводится применительно к сухому воздуху. Характерные величины для долго живущих →парниковых газов составляют порядка мк моль/моль (миллионная доля:  $млн^{-1}$ ), нмоль/моль (миллиардная доля:  $млрд^{-1}$ ) и фмоль/моль (триллионная доля:  $трлн^{-1}$ ). Относительное количество грамм-молекул отличается от коэффициента перемешивания объема, который часто выражается в ppmv и т.д., коррекциями неидеальности газов. Подобная коррекция имеет важное значение для точности измерений многих парниковых газов. (Источник: Schwartz and Warneck, 1995).

### Относительный уровень моря

Уровень моря, измеренный при помощи →футштока относительно того участка суши, на котором он находится. Средний уровень моря (СУМ) обычно определяется как средний относительный уровень моря за такой период, как месяц или год, который является достаточно длительным для выведения усредненного значения таких переходных явлений, как волны.

### Параметризация

Применительно к →моделям климата этот термин означает метод представления процессов, которые не поддаются четкому разрешению при данной пространственной или временной разрешающей способности модели (процессы в масштабе меньше сетки), посредством соотношений между усредненным по площади или времени эффектом подобных процессов в масштабе меньше сетки и более крупномасштабным потоком.

### Парниковый газ

Парниковые газы — это газообразные составляющие атмосферы как естественного, так и антропогенного происхождения, которые поглощают и испускают излучение с конкретной длиной волны в рамках спектра инфракрасного излучения, испускаемого поверхностью Земли, атмосферой и облаками. Это свойство вызывает →парниковый эффект. Основными парниковыми газами в атмосфере Земли являются: водяной пар ( $H_2O$ ), двуокись углерода ( $CO_2$ ), закись азота ( $N_2O$ ), метан ( $CH_4$ ) и озон ( $O_3$ ). Кроме того, имеется ряд полностью антропогенных парниковых газов в атмосфере, таких, как →галогидроуглероды и другие вещества, содержащие хлор и бром, которые рассматриваются в рамках →Монреальского протокола. Помимо  $CO_2$ ,  $N_2O$  и  $CH_4$  в →Киотском протоколе рассматриваются такие парниковые газы, как: гексафторид серы ( $SF_6$ ), гидрофторуглероды (ГФУ) и перфторуглероды (ПФУ).

### Парниковый эффект

→Парниковые газы эффективно поглощают →инфракрасное излучение, испускаемое поверхностью Земли, самой атмосферой из-за присутствия этих газов, а также облаками. Атмосферное излучение идет по всем направлениям, в том числе вниз по направлению к поверхности Земли. Таким образом, парниковые газы являются ловушкой для тепла в системе поверхность Земли-тропосфера. Это явление носит название *естественного парникового эффекта*.

Атмосферное излучение в значительной мере связано с температурой на том уровне, из которого оно исходит. В →тропосфере температура обычно понижается с увеличением высоты. Фактически инфракрасное излучение, испускаемое в космическое пространство, возникает с высоты, на которой температура в среднем составляет  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в сбалансированном равновесии с чистой приходящей солнечной радиацией, в то время как поверхность Земли сохраняет гораздо более высокую температуру — в среднем  $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Повышение концентрации парниковых газов ведет к повышению непроницаемости атмосферы для инфракрасного излучения и, соответственно, к фактическому испусканию излучения в космос с больших высот с более низкой температурой. Это является причиной →радиационного воздействия — дисбаланса, который может быть компенсирован лишь за счет повышения температуры в системе поверхность Земли-тропосфера. Это явление называют *усиленным парниковым эффектом*.

### Перспективная оценка (общая)

Перспективная оценка — это описание возможного будущего развития какой-либо качественной характеристики или совокупности количественных показателей, часто рассчитываемая с помощью какой-либо модели. Перспективные оценки отличаются от *предсказаний*, в том смысле, что для выработки перспективных оценок используются предположения относительно будущего социально-экономического и технологического развития, которое может или не может произойти, и поэтому перспективные оценки связаны со значительной неопределенностью. См. также →Перспективная оценка климата; →Предсказание климата.

### Перспективная оценка климата

→Перспективная оценка реакции климатической системы на →сценарии выбросов или концентрации парниковых газов и аэрозолей или →сценарии радиационного воздействия, часто основанная на результатах имитаций с использованием →моделей климата. Перспективные оценки климата отличаются от →предсказаний климата, с тем чтобы подчеркнуть, что перспективная оценка климата зависит от используемых сценариев выбросов/концентраций/радиационного воздействия, основанных на допущениях относительно, например, будущего социально-экономического и технологического развития, которое может реально произойти или не произойти в будущем и поэтому для каждого сценария характерна существенная неопределенность.

### Поглощение (uptake)

Добавление вызывающего озабоченность вещества в →накопитель. Поглощение содержащих углерод веществ, в частности двуокиси углерода, часто называют поглощением углерода (sequestration).

### Поглощение (sequestration)

См.: →Поглощение (uptake).

### Поглотитель

Любой процесс, вид деятельности или механизм, удаляющий из атмосферы →парниковый газ, →аэрозоль или прекурсор парникового газа или аэрозоля.

### Подъем уровня моря

См.: →Относительное вековое изменение уровня моря; тепловое расширение.

### Потенциал глобального потепления (ПГП)

Показатель радиационных характеристик сильно перемешанных →парниковых газов, который представляет совокупный эффект различных временных периодов, в течение которых эти газы остаются в атмосфере, и их относительную эффективность поглощения исходящего →инфракрасного излучения. Этот показатель аппроксимирует суммарный временной эффект потепления единичной массы данного парникового газа в сегодняшней атмосфере по отношению к эффекту →двуокиси углерода.

### Предсказание климата

Предсказание или прогнозирование климата — это результат попытки дать наиболее вероятное описание или оценку фактической эволюции климата в будущем, например, в сезонном, межгодовом или долгосрочном временном масштабе. См. также: →Перспективная оценка климата и →Сценарий (изменения) климата.

### Предшествующие соединения

Атмосферные соединения, которые сами по себе не являются →парниковыми газами или →аэрозолями, но которые оказывают воздействие на концентрации парниковых газов или аэрозолей в результате участия в физических или химических процессах, регулирующих темпы их образования или разрушения.

### Продолжительность жизни

Продолжительность жизни — это общий термин, используемый для различных временных масштабов для характеристики темпов процессов, влияющих на концентрацию незначительных газовых примесей. Различаются следующие виды продолжительности жизни:

*Время оборота* (T) — это отношение массы M накопителя (например газообразное соединение в атмосфере) и общего показателя абсорбции S из накопителя:  $T = M/S$ . Для каждого процесса абсорбции может быть определено отдельное время оборота. В биологии почвенного углерода это понятие именуется *среднее время нахождения* (CBH).

**Время адаптации** или **время реагирования** ( $T_a$ ) — это временной масштаб, характеризующий снижение мгновенного исходного импульса в накопителе. Термин *время адаптации* используется также для характеристики адаптации массы накопителя после поэтапного изменения мощности источника. Термин *половина продолжительности жизни* или *константа снижения* используется для количественного определения процесса экспоненциального снижения первого порядка. См.: →Время реагирования для иного определения, соответствующего климатическим колебаниям. Термин *продолжительность жизни* используется в некоторых случаях в целях упрощения как заменитель понятия *время адаптации*. В простых случаях, когда глобальная абсорбция соединения прямо пропорциональна общей массе накопителя, время адаптации равно времени оборота:  $T = T_a$ . Примером является CFC-11, который удаляется из атмосферы лишь посредством фотохимических процессов в стратосфере. В более сложных случаях, когда задействовано несколько накопителей или когда абсорбция непропорциональна общей массе, равенство  $T = T_a$  больше не действует. →Двуокись углерода ( $CO_2$ ) — это исключительный пример. Время его оборота всего лишь 4 года из-за процесса быстрого обмена между атмосферой и океанической и наземной биотой. В то же время, значительная часть этого  $CO_2$  возвращается в атмосферу в течение нескольких лет. Таким образом, время адаптации  $CO_2$  в атмосфере фактически определяется скоростью абсорбции углерода из поверхностного слоя океанов в более глубокие слои. Хотя приблизительная величина времени адаптации  $CO_2$  в атмосфере может составлять 100 лет, фактическая адаптация идет быстрее на первоначальном этапе, а затем замедляется. В случае метана ( $CH_4$ ) время адаптации отличается от времени оборота, поскольку абсорбция происходит главным образом посредством химической реакции с радикалом гидроксильной группы OH, концентрация которого зависит от концентрации  $CH_4$ . В этой связи абсорбция  $S CH_4$  непропорциональна его общей массе  $M$ .

### **Промышленная революция**

Период быстрого промышленного роста с далеко идущими социально-экономическими последствиями, который начался в Англии во второй половине XVIII века и распространился на Европу, а затем на другие страны, включая Соединенные Штаты Америки. Изобретение парового двигателя явилось важным толчком для этого развития. Промышленная революция знаменует собой начало быстрого роста использования ископаемых видов топлива и выбросов образующейся при сжигании ископаемого топлива двуокиси углерода. В настоящем докладе термины «доиндустриальный» и «промышленный» относятся, несколько произвольно, к периодам соответственно до и после 1750 г.

### **Пространственный и временной масштаб**

Климат может меняться в широком пределе пространственного и временного масштаба. Пространственный масштаб может находиться в пределах от местного (менее 100 000 км<sup>2</sup>), регионального (100 000—10 млн км<sup>2</sup>) до континентального

(10—100 млн км<sup>2</sup>). Временной масштаб может лежать в пределах от сезонного до геологического (до сотен миллионов лет).

### **Радиационное воздействие**

Радиационное воздействие — это изменение в вертикальном нетто-излучении (выражаемое в ваттах на квадратный метр: Вт·м<sup>-2</sup>) в тропопаузе в результате внутреннего изменения в климатической системе или изменения внешнего воздействия со стороны →климатической системы, такого, как например, изменения в концентрации →двуокиси углерода или в излучении Солнца. Обычно радиационное воздействие рассчитывается после того, как температуры в стратосфере вновь адаптировались к радиационному равновесию, однако, при этом все характеристики тропосферы остаются зафиксированными на уровне значений, не измененных возмущениями. Радиационное воздействие называется мгновенными, если не происходит никакого изменения в температуре стратосферы. Практические проблемы, возникающие в результате этого определения, в частности в отношении радиационного воздействия, связанного с вызванными аэрозолями изменениями образования осадков облаками, рассматриваются в главе 6 настоящего доклада.

### **Равновесный и временный климатический эксперимент**

*Равновесный климатический эксперимент* — это эксперимент, в ходе которого →модели климата дается возможность полностью адаптироваться к изменению →радиационного воздействия. Благодаря подобным экспериментам получают информацию о различии между исходным и окончательным состояниями модели, но не данные о реакции, которая зависит от временного предела. Если допускается постепенная эволюция воздействия в соответствии с предписанным →сценарием выброса, может быть проанализирована реакция модели климата, зависящая от временного фактора. Подобный эксперимент именуется *экспериментом временного климата*. См.: →Перспективная оценка климата.

### **Радиоволновое-акустическое зондирование**

Картирование поверхности и коренного ложа и, следовательно, толщины ледника может осуществляться при помощи радиолокатора; проникающие в лед сигналы отражаются на нижней границе породы (или воды, или плавающего ледникового языка).

### **Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН)**

Конвенция была принята 9 мая 1992 г. в Нью-Йорке и подписана в 1992 г. на Встрече на высшем уровне «Планета Земля» в Рио-де-Жанейро более чем 150 странами и Европейским сообществом. Ее конечная цель заключается в «стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему». Она содержит обязательства всех Сторон. Согласно этой Конвенции Стороны, включенные в приложение I, должны стремиться к снижению к 2000 г. выбросов парниковых газов,

не контролируемых Монреальским протоколом, до уровня 1990 г. Конвенция вступила в силу в марте 1994 г. См.: →Киотский протокол.

### **Рамочная конвенция об изменении климата**

См.: →Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН).

### **Растительный уголь**

Продукт преобразования биомассы в результате карбонизации, обычно сохраняющий определенную микроскопическую структуру, характерную для растительных тканей; по химическому составу состоит главным образом из углерода с нарушенной графической структурой, а также меньших объемов кислорода и водорода. См.: →Углерод в чистом виде; частицы сажи. (Источник: Charlson and Heintzenberg, 1995, с. 402).

### **Резерв**

См.: →Накопитель.

### **Режимы**

Преференциальные →модели изменчивости климата.

### **Североатлантическое колебание (САК)**

Североатлантическое колебание включает противоположные колебания барометрического давления вблизи Исландии и около Азорских островов. В среднем западное течение между исландским районом низкого давления и азорским районом высокого давления вызывает движение циклонов с их фронтальными системами в направлении Европы. Однако разница давления между Исландией и Азорскими островами колеблется во временных масштабах от дней до десятилетий и иногда может иметь обратное направление.

### **Смягчение последствий**

Вмешательство человека с целью сокращения →источников или увеличения емкости →поглотителей →парниковых газов.

### **Содержащий углерод аэрозоль**

Аэрозоль, состоящий главным образом из органических веществ и разновидностей →углерода в чистом виде. (Источник: Charlson and Heintzenberg, 1995, с. 401).

### **Солнечная активность**

Деятельность Солнца характеризуется периодами высокой активности, отмечаемой по ряду →солнечных пятен, а также радиоактивным выбросам, магнитной активности и выбросам частиц высокой энергии. Подобные колебания имеют место в пределах временного масштаба от миллионов лет до минут. См.: →Солнечный цикл.

### **Солнечные пятна**

Небольшие темные области на Солнце. Количество солнечных пятен повышается в периоды высокой →солнечной активности и меняется, в частности, в период солнечного цикла.

### **Солнечная радиация**

Радиация, испускаемая Солнцем. Упомянется также в качестве коротковолновой радиации. Солнечная радиация имеет отчетливый диапазон длин волн (спектр), определяемый температурой Солнца. См. также: →Инфракрасное излучение.

### **Солнечный («11-летний») цикл**

Квазирегулярная модуляция →солнечной активности с меняющейся амплитудой и периодом от 9 до 13 лет.

### **C<sub>3</sub>-растения**

Растения, которые в ходе фотосинтеза производят соединения C<sub>3</sub>; к ним относятся большинство деревьев и такие сельскохозяйственные культуры, как: рис, пшеница, соевые бобы, картофель и овощи.

### **C<sub>4</sub>-растения**

Растения, которые в ходе фотосинтеза производят соединения C<sub>4</sub>; главным образом тропического происхождения, включая травы и такие важные для сельского хозяйства культуры, как: маис, сахарный тростник, просо и сорго.

### **Средний уровень моря**

См.: →Относительный уровень моря.

### **Стратосфера**

Слой атмосферы с высокой стратификацией, находящийся над →тропосферой и простирающийся от высоты примерно в 10 км (в среднем от 9 км в высоких широтах и до 16 км в тропиках) до примерно 50 км.

### **Структуры изменчивости климата**

Естественная изменчивость →климатической системы, в частности в сезонных и более длительных временных масштабах, в большинстве своем наблюдается в рамках преференциальных пространственных моделей посредством динамических нелинейных характеристик циркуляции атмосферы и взаимодействий с поверхностями земли и океана. Подобные пространственные структуры именованы также «режимами» или «способами». Примерами являются североатлантическое колебание (САК), тихоокеанская →североамериканская модель (ТСАМ), →явление Эль-Ниньо/южное колебание (ЭНСО) и антарктическое колебание (АК).

### **Суточный диапазон температуры**

Различие между максимальной и минимальной температурой в течение дня.

### **Сценарий выбросов**

Правдоподобное представление будущего развития выбросов веществ, которые потенциально являются радиоактивными (например, →парниковые газы, →аэрозоли), основанное на последовательной и внутренне согласованной совокупности допущений о воздействующих факторах (как-то: демографическое и социально-экономическое развитие, технологические изменения) и их основных взаимосвязей.

*Сценарии концентрации*, полученные при помощи сценариев выбросов, используются в качестве исходных данных в модели климата для расчета →перспективных оценок климата.

В 1992 г. МГЭИК представила совокупность сценариев выбросов, которые были использованы в качестве основы для →перспективных оценок климата в сценариях МГЭИК в 1996 г. Эти сценарии выбросов упоминаются как сценарии IS92. В Специальном докладе МГЭИК о сценариях выбросов (Накиченович и др., 2000 г.) были опубликованы новые сценарии выбросов — так называемые →сценарии СДСВ, некоторые из которых использовались, в частности, в качестве основы для перспективных оценок климата, представленных в главе 9 настоящего доклада. Значения некоторых терминов, связанных с этими сценариями, см. →сценарии СДСВ.

### *Сценарий (общий)*

Правдоподобное и часто упрощенное описание того, каким образом может происходить развитие в будущем, основанное на последовательной и внутренне согласованной совокупности предположений о движущих силах и основных взаимосвязях. Сценарии могут быть разработаны на основе →перспективных оценок, однако они часто основаны на дополнительной информации из других источников, иногда объединенных с «повествовательным сюжетом». См. также: →Сценарии СДСВ; →Сценарий климата; →Сценарии выбросов.

### *Сценарий радиационного воздействия*

Вероятное представление будущего развития →радиационного воздействия, связанного, например, с изменениями в составе атмосферы или изменениями в землепользовании, или с такими внешними факторами, как колебания →солнечной активности. Сценарии радиационного воздействия исходных элементов в упрощенных →моделях климата для расчета →перспективных оценок климата.

### *Сценарии СДСВ*

Сценарии СДСВ — это →сценарии выбросов, разработанные Накиченовичем и другими авторами (2000 г.) и используемые, среди прочего, в качестве основы для перспективных оценок климата в главе 9 настоящего доклада. Для лучшего понимания структуры и использования набора сценариев СДСВ имеют значение следующие термины:

#### **Иллюстративный сценарий**

Сценарий, который является иллюстративным для каждой из шести сценарных групп, изложенных в Резюме для лиц, определяющих политику, подготовленном Накиченовичем и другими авторами (2000 г.). Они включают четыре пересмотренных «сигнальных сценария» для сценарных групп A1B, A2, B1, B2, а также два дополнительных сценария для групп A1F1 и A1T. Все сценарные группы являются в равной степени обоснованными.

#### **Сигнальный сценарий**

Сценарий, который первоначально готовится в виде проекта на Web-сайте СДСВ для представления данной сценарной

семьи. Выбор сигнальных сценариев был основан на том, какая из первоначальных количественных оценок лучше всего отражает сюжетную линию, а также характеристики конкретных моделей. Сигнальные сценарии никоим образом не являются более вероятными по сравнению с другими сценариями, однако рассматриваются группой авторов СДСВ в качестве иллюстрирующих конкретную сюжетную линию. Они также включены в пересмотренном варианте в Резюме, подготовленное Накиченовичем и другими авторами (2000 г.). Эти сценарии были самым тщательным образом рассмотрены всей группой авторов, а также в ходе открытого процесса СДСВ. Сценарии также отбирались для иллюстрации двух других сценарных групп (см. также «Сценарная группа» и «Иллюстративный сценарий»).

#### **(Сценарная) группа**

Сценарии в рамках семьи, которые отражают последовательное колебание сюжетной линии. Сценарная семья A1 включает четыре группы, обозначенные как A1T, A1C, A1G и A1B, в которых рассматриваются альтернативные структуры будущих энергетических систем. В Резюме для лиц, определяющих политику, подготовленном Накиченовичем и другими авторами (2000 г.), группы A1C и A1G были включены в одну сценарную группу A1F1 «Значительная доля ископаемых видов топлива». Три другие сценарные семьи состоят из одной группы каждая. Таким образом, набор сценариев СДСВ, изложенный в Резюме для лиц, определяющих политику, подготовленном Накиченовичем и другими авторами (2000 г.), состоит из шести различных сценарных групп, каждая из которых является в равной степени обоснованной, а все вместе они охватывают диапазон неопределенностей, связанных с определяющими факторами и выбросами.

#### **(Сценарная) семья**

Сценарии, которые имеют аналогичную сюжетную линию изменения демографического, общественного, экономического и технического характера. Четыре сценарных семьи составляют сценарный набор СДСВ: A1, A2, B1 и B2.

#### **(Сценарная) сюжетная линия**

Тематическое описание сценария (или семьи сценариев) с изложением основных сценарных характеристик, взаимосвязей между ключевыми определяющими факторами и динамикой их эволюции.

### *Тепловое расширение*

Применительно к повышению уровня моря это понятие означает увеличение объема (и уменьшение плотности), возникающее вследствие повышения температуры воды. Потепление океана ведет к увеличению объема океана и соответственно, к повышению уровня моря.

### *Термогалинная циркуляция*

Крупномасштабная, вызываемая изменениями плотности воды, циркуляция в океане, возникающая из-за различий в температуре и солености. В Северной Атлантике термогалинная

циркуляция представляет собой движение теплых поверхностных вод в северном направлении и движение холодных глубинных вод в южном направлении, в результате чего возникает нетто-перенос тепла в направлении полюса. Поверхностные воды опускаются вниз в сильно ограниченных районах опускания вод, находящихся в высоких широтах.

### **Тропауза**

Граница между →тропосферой и →стратосферой.

### **Тропосфера**

Самая нижняя часть атмосферы, начиная от поверхности Земли до высоты примерно в 10 км в средних широтах (в среднем от 9 км в высоких широтах до 16 км в тропиках), где перемещаются облака и происходят метеорологические явления. В тропосфере температура обычно понижается с увеличением высоты.

### **Углерод в чистом виде**

Функционально определяемые виды на основе определения поглощения света и химической активности и/или термальной стабильности; состоит из сажи, растительного угля и/или возможного светопоглощающего огнеупорного органического вещества. (Источник: Charlson and Heintzenberg, 1995, с. 401).

### **УНП (уровень научного понимания)**

Это показатель, состоящий из четырех степеней (высокая, средняя, низкая и весьма низкая), предназначенный для характеристики степени научного понимания факторов радиационного воздействия, которые влияют на изменение климата. Для каждого такого фактора данный показатель дает субъективное суждение относительно достоверности оценки его воздействия, включая такие факторы, как: предположения, необходимые для оценки воздействия, степень знания физических/химических механизмов, определяющих воздействие и неопределенности, связанные с количественной оценкой.

### **Факелы**

Яркие пятна на Солнце. Охваченная факелами поверхность увеличивается в периоды высокой солнечной активности.

### **Фотосинтез**

Процесс, в ходе которого растения поглощают CO<sub>2</sub> из воздуха (или бикарбонат в воде) для выработки углевода с выделением в ходе этого процесса O<sub>2</sub>. Существует несколько путей фотосинтеза с различной реакцией на концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере. См. →Обогащение атмосферы двуокисью углерода.

### **Футисток**

Устройство, установленное на побережье (и в некоторых глубоководных районах), при помощи которого осуществляется постоянное измерение уровня моря относительно прилегающей суши. Зарегистрированные таким образом данные об уровне моря с усреднением во времени дают наблюдаемые относительные вековые изменения уровня моря.

### **Цикл углерода**

Термин, используемый для описания потока углерода (в различных формах, например в качестве углекислого газа) через атмосферу, океан, наземную →биосферу и литосферу.

### **Частицы сажи**

Частицы, образующиеся во время резкого охлаждения газов на внешнем крае пламени органических паров, состоящие главным образом из углерода и меньшего количества кислорода и водорода, представленных в качестве карбоксильных и фенольных групп и характеризующихся неправильной графической структурой. См.: →Углерод в чистом виде; растительный древесный уголь. (Источник: Charlson and Heintzenberg, 1995, с. 406).

### **Чистая первичная продуктивность (ЧПП)**

Увеличение растительной →биомассы или углерода на единицу ландшафта. ЧПП равна валовой первичной продуктивности минус потеря углерода в результате автотрофного дыхания.

### **Чистая продуктивность биомы (ЧПБ)**

Суммарное поступление или потеря углерода в каком-либо районе. ЧПБ равна →чистой продуктивности биомы минус потеря углерода в результате какого-либо нарушения, например лесного пожара или вырубки леса.

### **Чистая продуктивность экосистемы (ЧПЭ)**

Суммарное поступление или потеря углерода в какой-либо →экосистеме. ЧПЭ равна →чистой первичной продуктивности минус потеря углерода в результате гетеротрофного дыхания.

### **Чувствительность климата**

В докладах МГЭИК равновесная чувствительность климата означает равновесное изменение средней глобальной приземной температуры в результате удвоения атмосферной концентрации (→эквивалента) CO<sub>2</sub>. В более общем плане *равновесная чувствительность климата* означает равновесное изменение поверхностной температуры воздуха после изменения единицы изменения →радиационного воздействия (°C/Вт·м<sup>-2</sup>). На практике, для оценки равновесной чувствительности климата требуется проведение продолжительных имитаций посредством совмещенных моделей общей циркуляции (→Модель климата).

*Эффективная чувствительность климата* — это относительный критерий, который снимает это требование. Она оценивается на основе результата модели для меняющихся неравновесных условий. Это критерий силы →обратных связей в конкретное время и он может меняться в зависимости от времени воздействия и состояния климата. Подробности обсуждаются в разделе 9.2.1 главы 9 настоящего доклада.

### **Шельфовый лед**

Плавающий →ледовый щит значительной толщины, прилегающий к побережью (обычно значительной горизонтальной протяженности с ровной или слегка волнистой

поверхностью); часто является продолжением ледовых щитов в направлении моря.

### **Штормовой нагон**

Временное увеличение в конкретном месте высоты уровня моря, вызванное экстремальными метеорологическими условиями (низкое атмосферное давление и/или сильные ветры). Штормовой нагон определяется как превышение того уровня, который ожидается в результате только колебания прилива в данное время и в данном месте.

### **Эвапотранспирация**

Суммарный процесс испарения с поверхности Земли и транспирации растительности.

### **Эквивалент CO<sub>2</sub> (двуокиси углерода)**

Концентрация →CO<sub>2</sub>, которая вызовет →радиационное воздействие, аналогичное воздействию данной смеси CO<sub>2</sub> с другими →парниковыми газами.

### **Экосистема**

Система взаимодействующих живых организмов вместе с их физической средой обитания. Границы того, что может быть названо экосистемой, являются произвольными в зависимости от направленности интереса или исследования. Соответственно масштабы той или иной экосистемы могут варьироваться от небольших пространственных масштабов до в конечном итоге всей планеты Земля.

### **Экстремальное метеорологическое явление**

Явление, которое является редким в рамках его статистического эталонного распределения в каком-либо конкретном месте. Определения понятия «редкое» весьма разнообразны, однако экстремальное метеорологическое явление обычно является столь редким или даже более редким, как десятый или девятый процентиль. По определению, характеристики того, что называют «экстремальной погодой», могут быть разными в разных местах.

«*Экстремальное климатическое явление*» — это среднее от количества метеорологических явлений за определенный период времени, среднее, которое само является экстремальным (например, количество дождевых осадков в какой-либо сезон).

### **Энергетический баланс**

Энергетический баланс →климатической системы, усредненный применительно ко всему земному шару и более длительным периодам времени, должен характеризоваться равновесием. Поскольку климатическая система получает в целом всю энергию от Солнца, этот баланс означает, что в глобальном масштабе количество поступающего →солнечного излучения должно в среднем равняться исходящему отраженному солнечному излучению и исходящему →инфракрасному излучению, испускаемому климатической системой. Пертурбация этого глобального радиационного баланса, как антропогенного, так и естественного происхождения, именуется →радиационным воздействием.

### **Явление Эль-Ниньо/южное колебание (ЭНСО)**

Эль-Ниньо в своем первоначальном значении, — это теплое водное течение, которое периодически возникает вдоль берегов Эквадора и Перу, нарушая состояние местных рыбных запасов. Это океаническое явление связано с колебанием в структуре межтропического поверхностного давления и циркуляции в Индийском и Тихом океанах, называемом южным колебанием. Это явление в сопряженной системе «атмосфера-океан» известно под общим названием явления Эль-Ниньо/южное колебание. В ходе явления Эль-Ниньо преобладающие пассаты ослабевают, а дующие в противоположном направлении экваториальные ветры усиливаются, заставляя теплые поверхностные воды в районе Индонезии перемещаться в восточном направлении, где они создают верхний слой над холодными водами Перуанского течения. Это явление оказывает значительное влияние на ветер, температуру поверхности моря и осадкообразующие системы в тропической зоне Тихого океана. Оно воздействует на климат во всем тихоокеанском регионе и во многих других районах земного шара. Явление, обратное Эль-Ниньо, называют *Ла-Нинья*.

### **Ядро конденсации облаков**

Находящиеся в воздухе частицы, которые служат в качестве исходной точки для конденсации воды в жидком состоянии и наличие которых ведет к образованию облачных капелек. См. также: →Аэрозоли.

## Источники:

---

- МГЭИК**, 1992 г.: Изменение климата, 1992 г.: Дополнительный доклад к научной оценке МГЭИК [J. T. Houghton, B. A. Callander and S. K. Varney (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, xi + 116 pp.
- МГЭИК**, 1994 г.: Изменение климата, 1994 г.: Радиационное воздействие изменения климата и оценка сценариев выбросов МГЭИК IS92 [J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B. A. Callander, E. Haites, N. Harris and K. Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 339 pp.
- МГЭИК**, 1996 г.: Изменение климата, 1995г.: Научные аспекты проблемы изменения климата. Вклад рабочей группы I во Второй доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. [J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 572 pp.
- МГЭИК**, 1997 г.: Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство. Специальный доклад МГЭИК. [Р. Т. Уотсон, Я. Р. Нобл, Б. Болин, Н. Х. Равиндранат и Д. Дж. Верардо, Д. Дж. Доккен (ред.)] Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 377 pp.
- IPCC**, 1997a: *IPCC Technical Paper 2: An introduction to simple climate models used in the IPCC Second Assessment Report*, [J. T. Houghton, L.G. Meira Filho, D. J. Griggs and K. Maskell (eds.)]. 51 pp.
- IPCC**, 1997b: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (3 volumes) [J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. Lim, K. Tréanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D. J. Griggs and B. A. Callander (eds.)].
- IPCC**, 1997c: *IPCC technical Paper 4: Implications of proposed CO<sub>2</sub> emissions limitations*. [ J. T. Houghton, L.G. Meira Filho, D. J. Griggs and M Noguer (eds.)]. 41 pp.
- Н. Накиченович**, Дж. Алкамо, Ж. Дэвис, Б. де Вриэ, Дж. Фенхан, С. Граффин, К. Грегори, А. Грубер, Т. Ю. Цзюнь, Т. Крам, Э. Л. ла Ровере, П. Шукла, Л. Михаэлис, С. Мори, Т. Морита, У. Пеплер, Х. Питчер, Л. Прайс, К. Раихи, А. Роэхрл, Х-Х Рогнер, А. Санковский, М. Шлезингер, С. Смит, Р. Сварт, Н. Виктор, Ч. Дади — 2000 г.: *Сценарии выбросов. Специальный доклад рабочей группы III Межправительственной группы экспертов по изменению климата*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp
- Charlson, R. J., and J. Heintzenberg** (Eds.): *Aerosol Forcing of Climate*, pp.91-108, copyright 1995, John Wiley and Sons Limited. Воспроизводится после получения разрешения.
- Mauder, W. John**, 1992: *Dictionary of Global Climate Change*, UCL Press Ltd.
- Moss, R. and S. Schneider**, 2000: *IPCC Supporting Material*, pp. 33-51: *Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to Lead Authors for more consistent Assessment and Reporting*, [R. Pachauri, T. Taniguchi and K. Tanaka (eds.)]
- Schwartz, S. E. and P. Warneck**, 1995: Units for use in atmospheric chemistry, *Pure & Appl. Chem.*, 67, pp. 1377-1406.

# Перечень основных докладов МГЭИК

---

**Изменение климата 2001 г.: Научные аспекты** — Вклад рабочей группы I в Третий доклад об оценках МГЭИК 2001 г.

**Изменение климата 2001 г.: Последствия, адаптация и уязвимость** — Вклад рабочей группы II в Третий доклад об оценках МГЭИК 2001 г.

**Изменение климата 2001 г.: Смягчение последствий** — Вклад рабочей группы III в Третий доклад об оценках МГЭИК 2001 г.

**Изменение климата 2001 г.: Синтезирующий доклад к Третьему докладу об оценках МГЭИК** 2001 г.

**Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories** 2000

**Сценарии выбросов** — Специальный доклад МГЭИК 2000 г.

**Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство** — Специальный доклад МГЭИК 2000 г.

**Методологические и технические аспекты передачи технологии** — Специальный доклад МГЭИК 2000 г.

**Авиация и глобальная атмосфера** — Специальный доклад МГЭИК 1999 г.

**Последствия изменения климата для регионов: Оценка уязвимости** — Специальный доклад МГЭИК 1998 г.

**Implications of Proposed CO<sub>2</sub> – Emissions Limitations IPCC Technical Paper IV** 1997

**Stabilization of Atmospheric Greenhouse Gases: Physical, Biological and Socio-Economic Implication -IPCC Technical Paper III** 1997

**An Introduction to Simple Climate Models used in the IPCC Second Assessment Report - IPCC Technical Paper II** 1997

**Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change - IPCC Technical Paper I** 1996

**Изменение климата, 1995 г. — Научные аспекты проблемы изменения климата.** Вклад рабочей группы I во Второй доклад МГЭИК об оценках 1996 г.

**Изменение климата, 1995 г. — Научно-технические анализы воздействий изменения климата, адаптаций к нему и смягчения его последствий (включая Резюме для лиц, определяющих политику).** Вклад рабочей группы II во Второй доклад МГЭИК об оценках 1996 г.

**Изменение климата, 1995 г. — Социально-экономические аспекты изменения климата (включая Резюме для лиц, определяющих политику).** Вклад рабочей группы III во Второй доклад МГЭИК об оценках 1996 г.

**Синтез научно-технической информации, содержащейся во Втором докладе МГЭИК об оценках, по вопросу об интерпретации статьи 2 Рамочной конвенции ООН об изменении климата** 1996 г.

**Revised 1966 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories** 1966

**Изменение климата, 1994 г.: Радиационное воздействие изменения климата и оценка сценариев выбросов МГЭИК IS92** 1995 г.

**Техническое руководство МГЭИК по оценке воздействий изменения климата и адаптации** 1995 г.

**Изменение климата, 1992 г.: Дополнительный доклад к научной оценке МГЭИК.** Доклад рабочей группы МГЭИК по научной оценке 1992 г.

**Изменение климата, 1992 г.: Дополнительный доклад к оценке воздействий МГЭИК.** Доклад рабочей группы МГЭИК по оценке воздействий 1992 г.

**Изменение климата: Оценки МГЭИК 1990 и 1992 гг.** Общее резюме и Резюме для лиц, определяющих политику, Первого доклада МГЭИК по оценке, а также дополнение 1992 г.

**Изменение климата: Научная оценка МГЭИК:** Доклад рабочей группы I МГЭИК 1990 г.

**Изменение климата: МГЭИК: Оценка воздействий.** Доклад рабочей группы II МГЭИК по оценке воздействий 1990 г.

**Изменение климата: МГЭИК: Стратегии реагирования.** Доклад рабочей группы III МГЭИК по стратегиям реагирования 1990 г.

**Запросы направлять по адресу: IPCC Secretariat, c/o World Meteorological Organization, 7bis, Avenue de la Paix, Case Postale 2300, 1211 Geneva 2, Switzerland**  
<http://www.ipcc.ch/>

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) была совместно учреждена Всемирной Метеорологической Организацией и Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде с целью обеспечения авторитетного изложения на международном уровне позиции научных кругов по изменению климата. Периодические оценки МГЭИК причин, последствий и возможных стратегий реагирования на изменение климата являются наиболее всеобъемлющими и современными докладами по имеющейся теме и представляют собой эталонный справочный материал для всех тех, кто занимается проблемами изменения климата в научных учреждениях, правительственных организациях и промышленности во всем мире. В рамках трех рабочих групп многие сотни международных экспертов оценивают изменение климата в настоящем Третьем докладе об оценках. Доклад состоит из трех томов и Синтезирующего доклада, опубликованных под общим названием «Изменение климата, 2001 г.»:

Изменение климата, 2001 г.: Научные аспекты

Вклад рабочей группы I в Третий доклад об оценках МГЭИК (ISBN 0521-01495-6)

Изменение климата, 2001 г.: Последствия, адаптация и уязвимость

Вклад рабочей группы II в Третий доклад об оценках МГЭИК (ISBN 0 521 01500-6)

Изменение климата, 2001 г.: Смягчение последствий

Вклад рабочей группы III в Третий доклад об оценках МГЭИК (ISBN 0 521 01502-2)

Изменение климата, 2001 г.: Синтезирующий доклад к Третьему докладу об оценках МГЭИК (ISBN 0 521 01507-3)

Изменение климата, 2001 г.: Научные аспекты — это наиболее всеобъемлющая и современная научная оценка изменения климата в прошлом, настоящем и будущем. В докладе:

- анализируется огромная совокупность данных наблюдений из всех частей климатической системы;
- дается классификация возрастающих концентраций атмосферных парниковых газов;
- оценивается уровень нашего понимания процессов и обратных связей, управляющих климатической системой;
- прогнозируются сценарии будущего изменения климата с использованием широкого ряда моделей будущих выбросов парниковых газов и аэрозолей;
- проводится подробное исследование того, в какой степени может быть выявлено то влияние, которое деятельность человека оказывает на климат;
- указываются пробелы в информации и понимании, которые до сих пор существуют в нашем познании изменения климата, а также даются рекомендации относительно возможной ликвидации этих пробелов.

Настоящий том, который может быть получен в секретариате МГЭИК (с/o World Meteorological Organization, 7bis Avenue de la Paix, C.P. 2300, CH-1211 Geneva 2, Switzerland, Phone: +41 22 730 82 08, Fax: +41 22 730 80 25, E-mail: [ipcc\\_sec@gateway.wmo.ch](mailto:ipcc_sec@gateway.wmo.ch)), содержит Резюме для лиц, определяющих политику, и Техническое резюме вклада рабочей группы I в Третий доклад об оценках МГЭИК. Полный вклад рабочей группы, содержащий подробный доклад из 14 глав, из которого был взят материал для настоящего Резюме, публикуется вместе с данными документами и может быть получен в издательстве Кембридж юниверсити пресс по адресу:

Cambridge University Press  
The Edinburgh Building  
Shaftesbury Road  
Cambridge CB2 2RU  
United Kingdom  
Tel: +44 1223 325588  
Fax: +44 1223 325152  
<http://www.cambridge.org/>

Designed and produced by the Met Office Graphics Studio  
© Intergovernmental Panel on Climate Change 2001  
Cover photo © Science Photo Library