

# Неопределенности данных наблюдений и численного моделирования климата

К.Я. Кондратьев, Центр экологической безопасности РАН, С.-Петербург

**Данные наблюдений, численное моделирование, антропогенные изменения, парниковый эффект, биогеохимические круговороты, атмосферный аэрозоль, малые газовые компоненты**

Проанализированы главные нерешенные проблемы, связанные с изучением глобального климата и его изменений. Особое внимание уделено рассмотрению процессов в интерактивной климатической системе «атмосфера — гидросфера — криосфера — литосфера — биосфера», находящейся под воздействием хозяйственной деятельности человека и космических факторов. В этой связи продемонстрирована односторонность «парниковой» концепции климата. Высказаны соображения о перспективах дальнейших исследований.

## 1. Введение

Не вызывает сомнений, что главным итогом Второй конференции ООН по окружающей среде и развитию, состоявшейся в 1992 г. в Рио-де-Жанейро, а также Специальной сессии Генассамблеи ООН (UNGASS), прошедшей через 5 лет в Нью-Йорке («Рио+5»), было привлечение внимания правительств и населения к проблемам глобальных изменений и устойчивого развития. К сожалению, оба глобальных форума не были адекватно подготовлены. Пожалуй, наиболее важное значение имел провал попыток разработать «Хартию Земли» как концептуальный документ, обосновывающий приоритеты. Вместо этого документа была одобрена довольно расплывчатая «Декларация Рио». Не достигло своих целей и Всемирное совещание на высшем уровне по устойчивому развитию (WSSD — «Рио+10»), происходившее в Йоганнесбурге с 26 августа по 6 сентября 2002 г.

В настоящее время главное внимание привлекают три проблемы глобальных изменений окружающей среды [1-199]:

- 1) изменения климата («глобальное потепление»);
- 2) глобальная динамика стратосферного слоя озона;
- 3) замкнутость глобальных биогеохимических круговоротов (концепция биотической регуляции окружающей среды [21]).

Печальный парадокс состоит, однако, в том факте, что, несмотря на убедительно доказанную в научной литературе приоритетность последней проблемы и подчиненную роль двух других проблем, документы UNCED и последующих глобальных форумов отображают отсутствие адекватного понимания того концептуального обстоятельства, что следующая последовательность событий является наиболее существенной: социально-экономическое развитие (стимулируемое ростом масштабов производства и численности населения), антропогенные воздействия на биосферу, последствия антропогенных воздействий для окружающей среды (климат, озон и др.).

Результатом подобной ситуации оказалось необоснованное выдвижение на передний план проблемы «глобального потепления» и, соответственно, — принятие противоречивой, необоснованной и несправедливой для развивающихся стран Рамочной конвенции ООН по проблеме изменений климата (UN FCCC). Без должного на то основания эта конвенция сфокусирована на антропогенном происхождении современных изменений глобального климата (наблюданного среднеглобального приземного потепления) и рекомендаций о сокращении промышленно развитыми странами выбросов парниковых газов (ПГ) в атмосферу (в первую очередь это относится к углекислому газу).

В декабре 1997 г. в Киото (Япония) состоялась третья Конференция представителей государств (более 160), подписавших FCCC. Эта конференция сопровождалась долгими и напряженными дискуссиями о необходимости принятия рекомендаций для развивающихся стран о сокращении выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу примерно на 5 % к 2008-2012 гг. по отношению к уровню выбросов в 1990 г., несмотря на абсурдность подобной рекомендации (убедительно показано, что такого рода сокращение практически не влияет на глобальный климат, а концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере продолжает возрастать [3, 18-22, 118-121]). Естественно, что позиция, развивающихся стран состоит в приоритетном учете условий социально-экономического развития (прежде всего, — в преодолении бедности и ее последствий). Понятно, что развивающиеся страны

не подготовлены к снижению выбросов ПГ, будучи заинтересованы в дальнейшем интенсивном развитии промышленности и сельского хозяйства. Все это не помешало одобрить Протокол Киото (ПК), содержащий упомянутые рекомендации о сокращении выбросов ПГ.

Президент США Д. Буш справедливо отклонил ПК, поскольку: 1) этот документ лишен необходимого научного обоснования; 2) принятие ПК повлечет за собой серьезный экологический ущерб (современная энергетика опирается, в основном, на использование углеводородного топлива), но не обеспечит сколько-нибудь заметного положительного воздействия на окружающую среду.

Можно подумать, что упомянутая абсурдная ситуация является следствием научной необоснованности концептуальных представлений в проблематике глобальных изменений. В этой связи следует напомнить, что уже в 1990 г. появились публикации, посвященные конструктивному обсуждению ключевых аспектов проблематики глобальных изменений [6, 9, 10]. В.Г. Горшков [6, 85] предложил и обосновал фундаментальную концепцию биотической регуляции окружающей среды, а в публикациях [9-22, 118-121] продемонстрирована неадекватность “парниковой” гипотезы глобального потепления и обращено внимание на необходимость изучать процессы в климатической системе «атмосфера — гидросфера — литосфера — криосфера — биосфера» с учетом всей их сложной интерактивности и нелинейности. Серьезное внимание было уделено в упомянутых публикациях проблеме обоснования глобальной системы наблюдений климата [81-84, 113, 114], а также проблеме изменчивости содержания озона в атмосфере [116].

К сожалению, в таком (по идеи, энциклопедически полном) документе как Третий отчет Межправительственной группы экспертов по проблеме изменений климата (МГЭИК-2001) [104] нет даже ссылок на упомянутые выше и многие другие публикации, включая многочисленные монографии, содержащие критический анализ некоторых разделов МГЭИК-2001.

Беспрецедентно возросшее за последние несколько десятилетий внимание к проблемам климата (это относится, в частности, и к средствам массовой информации), безусловно, стимулировало развитие как чисто научных, так и прикладных разработок, что обеспечило достижение значительного прогресса в понимании причин современных изменений климата, закономерностей палеоклимата и в обосновании сценариев возможных изменений климата в будущем (речь идет именно о сценариях, а не прогнозах, возможности которых следует оценивать как сомнительные). К сожалению, слишком большую роль в росте внимания к проблемам климата сыграли различного рода спекулятивные преувеличения и апокалиптические прогнозы (например, полного таяния арктических морских льдов в первой половине текущего столетия), благодаря которым проблематика изменений климата, сформулированная в форме концепции антропогенно обусловленного глобального потепления, стала острым предметом geopolитики. Как по меньшей мере парадоксальную следует рассматривать такую ситуацию, когда президенты и премьер-министры различных стран вступают в дискуссию о том, следует ли считать Протокол Киото (ПК) научно обоснованным документом.

Запутанность ситуации определяется, в частности, отсутствием достаточно четкой и согласованной терминологии. Если отвлечься от очень сложного положения с определением понятия климата (эта тема требует отдельного обсуждения), то следует напомнить, например, что до самого последнего времени понятие «изменение климата» (climate change) определялось как антрогенно обусловленное, хотя одна из главных нерешенных проблем состоит в отсутствии убедительных количественных оценок вклада антропогенных факторов в формирование глобального климата (никто не сомневается, однако, что антропогенные воздействия на климат существуют). В международных документах, содержащих анализ современных представлений о климате, широко использовалось понятие «консенсуса» относительно содержащихся в подобных документах научных выводов, как если бы развитие науки определялось не различием взглядов и соответствующими дискуссиями, а всеобщим согласием (и даже голосованием), по тем или иным конкретным вопросам. Помимо дефиниций, важное значение имеет проблема размытости и неопределенности концептуальных оценок, касающихся различных аспектов климатической проблематики.

Это относится, в частности, к главному выводу в резюме Отчета МГЭИК-2001 [104]: «...возрастающий объем данных наблюдений определяет совокупную картину претерпевающего потепление мира, причем большая часть наблюдавшегося за последние 50 лет потепления бы-ла, вероятно, обусловлена хозяйственной деятельностью человека».

Печальный факт состоит в том, что в недавней (2003 г.) статье в британской газете «Гардиан» б. председатель

1-й Рабочей группы МГЭИК проф. Д. Хотон сравнил угрозу антропогенно обусловленных изменений климата с оружием массового уничтожения и обвинил США в том, что их отказ от поддержки концепции «глобального потепления» и ПК является главной причиной появления подобной угрозы. Как это ни парадоксально, такого рода заявление сделано на фоне возрастающего понимания несовершенства современных моделей глобального климата и отсутствия их адекватной верификации, что делает «прогнозы» на основе численного моделирования не более, чем совершенно условными сценариями [171а].

Что касается США, то можно только поддержать гигантские усилия этой страны в поддержке исследований климата, выражющиеся как в особом внимании к совершенствованию систем наблюдений [69], так и к разработкам в области климатической проблематики вообще [181]. Запланированные в США расходы на эту проблематику в 2004 г. составляют \$ 4,5 млрд.

В заявлении, опубликованном от имени межправительственной группы Г-8 2 июля 2003 г. [164], справедливо подчеркнуто, что усилия будут сконцентрированы в ближайшие годы на трех направлениях:

- 1) координация стратегий глобальных наблюдений;
- 2) обеспечение более чистого, устойчивого и эффективного использования энергии;
- 3) обеспечение устойчивого сельскохозяйственного производства и сохранения биоразнообразия.

Ключевым понятием в контексте климатической проблематики стала неопределенность. Разумеется, нет ничего нового в том, что современные представления о глобальном климате и причинах его изменений содержат много неопределенностей. Существуют, однако, принципиальные расхождения в оценках масштабов такого рода неопределенностей. Главные выводы отчета МГЭИК-2001 сводятся к тому, что подобные неопределенности не являются критически важными. Это зафиксировано, в частности, в резюме Отчета в форме следующего вывода: «Имеются новые и серьезные доказательства того, что потепление, наблюдавшееся за последние 50 лет, обусловлено хозяйственной деятельностью человека».

Morgan [136] справедливо заметил по поводу этого вывода, что он не соответствует действительности, поскольку период 50 лет включал 30-летний интервал похолодания и только последние 20 лет отмечены наличием потепления глобального климата. Прав автор [136] и в его призывае не слишком полагаться на выводы, полученные на основе приближенного численного моделирования климата, а внимательно проанализировать данные о природно обусловленной изменчивости климата. Любопытно в этой связи, что такой известный ученый как Haigh [92], которая принадлежит к числу ведущих авторов отчета МГЭИК-2001 решительно возразила Д. Моргану, сделав тривиальные заявления, но проигнорировав его основные замечания. Согласно Д. Хэйг, модели климата «... примерно в такой степени реалистичны и сложны, как это возможно при современных ограничениях мощности ЭВМ». Вполне очевидная истина состоит, однако, в том, что главная проблема заключается во все еще далеком от достаточной полноты понимании процессов в интерактивной системе «атмосфера — гидросфера — криосфера — литосфера — биосфера», подверженной различным внешним воздействиям.

Reilly и др. [152] вполне обоснованно подчеркнули: «... мы полагаем, что многое еще остается сделать для того, чтобы адекватно оценить неопределенности тех выводов, которые наиболее важны для принятия решений в области экологической политики».

Ограничивааясь в остальном ссылками на литературу, обратимся к краткому комментарию по поводу проблематики глобальных изменений климата как наиболее ярко отображающей существующие заблуждения.

Самые важные обстоятельства состоят в следующем:

- 1) данные наблюдений (пока еще неадекватные, с точки зрения их полноты и надежности) отнюдь не содержат отчетливого подтверждения существования антропогенно обусловленного глобального потепления (особенно это касается данных наземных наблюдений в США, в Арктике и результатов СВЧ-спутникового ДЗ);
- 2) если усиление парникового эффекта атмосферы, обусловленное предполагаемым удвоением концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере, может составить около 4 Вт/м<sup>2</sup>, то неопределенности, связанные с учетом

климатообразующей роли атмосферного аэрозоля и облаков, при численном моделировании климата, достигают десятков и даже 100 Вт/м<sup>2</sup>;

3) результаты численного моделирования климата, обосновывающие гипотезу парникового глобального потепления и якобы согласующиеся с данными наблюдений, представляют собой не более чем подгонку к данным наблюдений;

4) опирающиеся на эти результаты рекомендации об уровнях сокращения выбросов ПГ лишены смысла (их осуществление может иметь, однако, далеко идущие негативные социально-экономические последствия). По данным приближенного численного моделирования даже полная реализация рекомендаций ПК способна обеспечить лишь снижение среднегодовой среднеглобальной приземной температуры воздуха (ПТВ), не превосходящее нескольких сотых долей градуса.

За последние годы серьезное внимание привлек анализ неопределенностей (неполноты) численного моделирования климата. К числу наиболее серьезных источников неопределенностей принадлежит неадекватность учета интерактивных процессов в системе «аэрозоль — облака — радиация» [16-24, 33, 115]. Не вызывает сомнений, что сложнейший аспект численного моделирования климата связан с учетом интерактивной динамики биосфера [9-11, 21, 41, 113, 119, 121], а также взаимодействий атмосферы и океана [29, 39, 40, 67, 104, 181]].

Risbey и Kandlikar [153] справедливо отметили, что, хотя по целому ряду аспектов проблемы обнаружения и атрибуции изменений климата существует, в целом, согласие, имеют место и серьезные расхождения. Главное в проблеме изменений глобального климата состоит в том, что, хотя факт его потепления в XX в. не вызывает сомнений (особенно это относится к последней четверти века), причины потепления (и особенно количественные оценки вкладов различных факторов в изменения глобального климата) остаются предметом острых научных дискуссий. В еще большей степени это относится к прогнозам климата с учетом антропогенных воздействий.

## 2. Данные наблюдений

Главная причина противоречивости разработок по изучению современного климата и его изменений состоит в неадекватности имеющегося глобального архива данных наблюдений с точки зрения его полноты и качества. В этой связи Mohr и Bridge [135] выполнили содержательный анализ эволюции глобальной системы наблюдений. Понятно, что климат характеризуется многими параметрами — такими, как температура и влажность воздуха вблизи земной поверхности и в свободной атмосфере, осадки (жидкие и твердые); количество, высота нижней и верхней границ, микрофизические и оптические характеристики облаков, радиационный баланс и его компоненты; микрофизические и оптические параметры атмосферного аэрозоля, компоненты химического состава атмосферы и мн. др. Между тем эмпирический анализ данных о климате ограничивается, как правило, апелляцией к результатам наблюдений приземной температуры воздуха (ПТВ), поскольку лишь в этом случае имеются ряды данных за 100-150 лет. Однако даже и эти ряды далеки от однородности, особенно когда дело касается глобального массива данных, который служит главным источником информации для попыток обоснования концепции глобального потепления [195]. При этом надо иметь в виду также тот факт, что получаемый при глобальном осреднении вековой ход значений ПТВ опирается в значительной степени на использование далеких от совершенства данных наблюдений температуры поверхности океана (ТПО).

Наиболее важный (и спорный) вывод Отчета МГЭИК-2001 [104] о преимущественно антропогенной природе современных изменений климата опирается главным образом на анализ совместных данных о ПТВ и ТПО о вековом ходе среднеглобальной среднегодовой температуры на уровне подстилающей поверхности (ССТ). В этой связи возникают два все еще требующих ответа вопроса: 1) об информационном содержании понятия ССТ (эту проблему отчетливо сформулировали Essex и McKittrick [74]); 2) о достоверности значений ССТ, определяемой, в частности, фрагментарностью данных для южного полушария, все еще требующей решения проблемой городских «островов тепла» [26] и др.).

До сих пор продолжаются исследования достоверности данных наземных наблюдений ПТВ с точки зрения надежности методик наблюдений. Как известно, наблюдения приземной температуры воздуха на протяжении более столетия осуществляются при помощи стеклянных термометров, но за это время неоднократно изменились устройства защиты термометров от прямого воздействия солнечной радиации и ветра, что диктует необходимость фильтрации данных по ПТВ с целью обеспечения однородности рядов наблюдений. В период с апреля по август 2000 г. на станции университета Небраски, США (40°83' с.ш., 96°67' з.д.) Hubbard и

Lin [101] выполнили сравнительные наблюдения ПТВ над гладким травяным покровом с использованием различных устройств защиты термометров. Одновременно измерялись прямая солнечная радиация и скорость ветра. Анализ результатов наблюдений показал, что расхождения данных наблюдений могут достигать нескольких десятых градуса. Предложена поэтому методика повышения однородности рядов наблюдений, применение которой обеспечивает существенное улучшение однородности рядов, хотя и не позволяет исключить влияние погрешностей калибровки и дрейфа чувствительности датчиков температуры.

Главный интерес в контексте диагностики данных наблюдений климата должен быть связан с анализом его изменчивости, основополагающее значение для которого имеет рассмотрение не средних величин, а моментов более высоких порядков. К сожалению, до сих пор не было предпринято даже попыток подобного подхода. То же самое относится к оценкам внутренней корреляции рядов наблюдений. Лишь P. Маккитрик [27], проанализировав вековой ход ПТВ, показал, что, если отфильтровать вклад в изменение температуры за последние несколько десятилетий за счет внутренней корреляции (т.е., определяемой инерцией климатической системы), то оказывается, что изменение температуры практически отсутствовало. Парадоксально, но факт: именно повышение среднеглобальной ПТВ за последние 20-30 лет служит главным аргументом в пользу вывода о доминировании антропогенного вклада в изменения климата.

## 2.1. Температура воздуха

Согласно обсужденным в [104] данным наблюдений приземной температуры воздуха за период с 1860 г., ее среднегодовое среднеглобальное значение повысилось на  $0.6^\circ \pm 0.2^\circ\text{C}$ . Это примерно на  $0.15^\circ\text{C}$  превосходит значение, приведенное в Отчете МГЭИК-1996, что обусловлено высоким уровнем ПТВ в период 1995-2000 гг. Данные наблюдений обнаружили наличие весьма сильной пространственно-временной изменчивости среднегодовой ПТВ на земном шаре. Это проявилось, например, в том, что потепление климата в XX в. происходило главным образом в течение двух периодов времени: 1919-1945 гг. и с 1976 г. по настоящее время. Из новых данных по диагностике глобального климата следует, что его потепление в Северном полушарии в XX в. было, по-видимому, самым сильным за последние 1000 лет, 1990 гг. — самым теплым десятилетием, а 1998 г. наиболее теплым годом. Важная особенность динамики климата состояла в том, что в среднем скорость повышения ночных (минимальных) значений ПТВ на суще примерно вдвое превосходила скорость роста дневных (максимальных) значений ПТВ, начиная с 1950 г. ( $0.2^\circ\text{C}$  против  $0.1^\circ\text{C}/10$  лет). Это способствовало росту продолжительности безморозного периода во многих регионах умеренных и высоких широт.

В Отчете МГЭИК-2001 [104] не упомянуто о предполагавшемся ранее усилении потепления климата в высоких широтах северного полушария как характерном признаком антропогенно обусловленного глобального потепления. Однако из осуществленного в работе [1] анализа данных прямых измерений ПТВ на станциях «Северный Полюс» за 30 лет и дендроклиматических косвенных данных за последние 2-3 столетия следует, что упомянутого однородного усиления потепления не наблюдалось, а изменения климата как последнего столетия, так и десятилетия характеризовались сильной пространственно-временной неоднородностью: в Арктике одновременно формировались регионы как потепления, так и похолодания климата (см. также [174]).

По данным спутниковых наблюдений (начиная с 1979 г.) тренд среднеглобальной температуры нижней тропосферы (08 км) составил  $+0.07^\circ\text{C}/10$  лет [35]. Согласно данным аэрологических зондирований, имело место повышение среднеглобальной температуры нижней тропосферы, составившее около  $0.03^\circ\text{C}/10$  лет и значительно уступающее росту ПТВ (примерно  $0.15^\circ\text{C}/10$  лет) [190]. Подобное различие потепления проявилось главным образом в регионах океанов, в тропиках и субтропиках, а причины различия остаются неясными [63]. Из результатов численного моделирования климата следует, что глобальное потепление должно было сильнее проявляться в свободной тропосфере, чем у земной поверхности.

Повышение приземной температуры воздуха происходило главным образом в результате роста минимальной температуры  $T_{min}$ , который примерно вдвое превосходил рост максимальной температуры  $T_{max}$ . Поэтому тренд повышения ПТВ сопровождался спадом амплитуды суточного хода температуры  $DTR = T_{max} - T_{min}$ , который оказался сравнимым ( $0.8^\circ\text{C}$  за столетие) с величиной тренда потепления. Хотя, вообще говоря, тренд  $DTR$  может служить индикатором уровня антропогенных воздействий на климат, соответствующие количественные оценки отсутствуют. В связи с этим на основе использования канадской модели глобального климата CGCM1 Stone и Weaver [176] выполнили численное моделирование изменений ПТВ с учетом наблюдавшегося роста концентрации парниковых газов и заданного повышения содержания сульфатного аэрозоля в тропосфере, влияние которого оценено путем эквивалентного изменения альбедо подстилающей

поверхности. Рассчитанное значение DTR составило  $-0,2^{\circ}\text{C}$  и, как показал анализ результатов численного моделирования, был обусловлен главным образом изменениями условий облачности и влажности почвы. Значительное расхождение с данными наблюдений свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования численного моделирования.

Расхождение трендов температуры у земной поверхности и в тропосфере породило интенсивную дискуссию в научной литературе [63, 64, 64a, 190]. Поскольку достоверность данных спутникового дистанционного зондирования не вызывает сомнений, а их пространственная репрезентативность (в глобальных масштабах) безусловно надежнее, чем у наземных данных, упомянутое расхождение следует интерпретировать как диктуемую необходимость дальнейшего анализа адекватности данных по ПТВ и ТПО.

За последнее время привлекли внимание данные об изменении высоты тропопаузы [100, 150, 157, 195a]. Как отметили Santer и др. [157], с 1979 г. произошло увеличение высоты тропопаузы на несколько сотен метров, согласующееся с результатами численного моделирования климата с учетом роста концентрации ПГ, вклад которого оказывается доминирующим.

## 2.2. Протяженность снежного и ледяного покровов

Начиная с конца 1960х гг., наблюдалось уменьшение протяженности снежного покрова, составившее около 10 %, и сокращение примерно на две недели ежегодной продолжительности покрытия ледяным покровом озер и рек в средних и высоких широтах Северного полушария в XX в., тогда как в неполярных регионах происходило отступление горных ледников. В 2002 г. протяженность снежного покрова в северном полушарии (СП) составило 25,4 млн.  $\text{km}^2$ , на 0,2 млн.  $\text{km}^2$  меньше, чем в среднем за предшествующие 30 лет. Годовой ход, характеризовался изменениями от 2,7 (август) до 46,9 (январь) млн.  $\text{km}^2$  [190].

Протяженность морского ледяного покрова в Северном полушарии весной и летом уменьшилась, начиная с 1950х гг., в пределах 10-15 %. Весьма вероятно, что за последние десятилетия (в периоды конца лета — начала осени) произошло уменьшение толщины морского ледяного покрова в Арктике, составившее около 40 %, но зимой подобное уменьшение было гораздо менее существенным. За период регулярных спутниковых наблюдений (начиная с 1970-х гг.) в Антарктике заметного тренда протяженности ледяного покрова обнаружено не было.

Численное моделирование, основанное на использовании глобальных моделей климата, показало (при учете возрастающих концентраций парниковых газов и аэрозоля), что в Арктике должно происходить усиление потепления климата за счет обратной связи, обусловленной таянием морского ледяного и снежного покрова, порождающего понижение альбедо подстилающей поверхности. С другой стороны, из данных наблюдений следует, что за последние десятилетия на большей части Арктики имело место повышение приземной температуры воздуха. Одним из регионов, где происходило потепление, является северная Аляска (особенно зимой и весной). В связи с этим Stone и др. [177] выполнили анализ данных об изменении климата на севере Аляски с целью выявления воздействия этого влияния на годовой ход протяженности снежного покрова (ПСП) и обратного влияния изменений ПСП на радиационный баланс подстилающей поверхности (РБПП) и ПТВ.

Подобное рассмотрение сконцентрировано на информации для района форта Барроу, которая является наиболее полной, и на ретроспективном анализе данных о более раннем сходе снега весной в Барроу и в других пунктах. Эти данные указывают на то, что по сравнению со временем 1960 гг. полный сход снежного покрова происходил за последние годы на 8 суток раньше. Подобная ситуация обусловлена ослаблением снегопадов зимой и потеплением климата весной, что можно объяснить влиянием изменений региональной атмосферной циркуляции. За последние десятилетия наблюдалось повышение частоты северных воздушных течений зимой, что могло благоприятствовать ослаблению снегопадов на севере Аляски зимой. Однако весной преобладают вторжения влажного теплого воздуха из региона Тихого океана в северном полушарии, которые способствуют ускорению аблации снега на Северном Склоне Аляски.

Одно из последствий более раннего таяния снега состоит в увеличении РБПП. В Барроу связанное с этим изменением радиационное возмущающее воздействие (РВВ) может превышать 150  $\text{Bt/m}^2$  в 5 течение суток в период после схода снежного покрова, а в среднем за год (с учетом завершения снеготаяния на 8 суток раньше) значение РВВ составляет около 2  $\text{Bt/m}^2$ . Это означает, что более ранний сход снежного покрова на Аляске вносит некоторый вклад в потепление климата в северном полушарии. Важное значение имеет также

высокая чувствительность экосистем суши к вариациям протяженности снежного покрова. В связи с этим возрастает озабоченность, что обсуждаемые возмущающие воздействия антропогенно обусловлены, а адаптация к ним будет сопровождаться значительными социально-экономическими последствиями. Хотя наблюдаемое уменьшение ПСП согласуется, в целом, с результатами численного моделирования антропогенного потепления, важное значение должны иметь также природно обусловленные изменения атмосферной циркуляции. Все это определяет необходимость дальнейших наблюдений и численного моделирования.

### 2.3. Уровень поверхности и теплосодержание верхнего слоя океана

За XX столетие произошел подъем уровня Мирового океана в пределах 0.10.2 м, причиной которого было, вероятно, тепловое расширение морских вод и таяния льда на суше, обусловленное глобальным потеплением. Скорость подъема уровня Мирового океана превзошла в XX в. примерно в 10 раз наблюдавшуюся за последние 3000 лет. Начиная с конца 1950-х гг. (когда стали массовыми изменения температуры поверхности океана), произошло увеличение теплосодержания верхнего слоя океана.

Levitus и др. [128] проанализировали данные о потеплении отдельных компонентов климатической системы в течение второй половины XX в., основанные на рассмотрении роста теплосодержания атмосферы и океана, а также оценок теплозатрат на таяние некоторых компонентов криосферы. Обсуждаемые результаты привели к выводу об увеличении теплосодержания атмосферы и океана. Рост теплосодержания верхнего слоя океана толщиной 3 км за период 1950-1990 гг. превосходил по крайней мере на порядок величины увеличение теплосодержания других компонентов климатической системы. Если наблюдаемый рост теплосодержания океана за период 1955-1996 гг. достигал  $18,2 \cdot 10^{22}$  Дж, то в случае атмосферы он составлял лишь  $6,6 \cdot 10^{21}$  Дж. Что касается значений скрытого тепла за счет фазовых преобразований воды, то они оказались равными:  $8,1 \cdot 10^{21}$  Дж (уменьшением массы ледников на суше);  $3,2 \cdot 10^{21}$  Дж (уменьшение протяженности морского ледяного покрова в Антарктике);  $1,1 \cdot 10^{21}$  Дж (таяние горных ледников);  $4,6 \cdot 10^{19}$  Дж (уменьшение протяженности снежного покрова в северном полушарии);  $2,4 \cdot 10^{19}$  Дж (таяние постоянного ледяного покрова в Арктике).

Данные наблюдений сопоставлены в работе [128] с результатами численного моделирования при помощи разработанной в Лаборатории геофизической гидродинамики (США) интерактивной модели системы «атмосфера — океан»: 1) с учетом радиационных эффектов, обусловленных наблюдавшимся ростом концентрации парниковых газов (ПГ), изменений содержания в атмосфере сульфатного аэрозоля и внеатмосферной инсоляции, а также вулканического аэрозоля; 2) с учетом лишь ПГ и сульфатного аэрозоля. Результаты сравнений привели к выводу, что наблюдавшиеся изменения теплосодержания океана можно объяснить, главным образом, ростом концентрации парниковых газов в атмосфере, хотя следует иметь в виду большую неопределенность оценок радиационного возмущающего воздействия за счет сульфатного аэрозоля и вулканических извержений. Последнее обстоятельство лишает работу [128] достаточной достоверности в части, касающейся распознавания антропогенного потепления.

Отмечая наличие сильной межгодовой изменчивости теплосодержания Мирового океана, авторы [128] подчеркнули: «... мы обращаем внимание на то, что экстремальное потепление Мирового океана в период 1990-х гг. было отчасти связано с многодесятилетним потеплением Атлантического и Индийского океанов, а также с положительной полярностью возможных двухлетних колебаний теплосодержания Тихого океана... изменения теплосодержания Мирового океана, которые мы наблюдаем, могут быть связаны с модами полушарной или глобальной изменчивости атмосферы от уровня океана до стратосферы. Понимание природы такого рода возможных связей составляет главную часть понимания механизмов, управляющих глобальным климатом». Как было отмечено выше, выполненные до недавнего времени разработки с целью распознавания антропогенно обусловленных изменений климата ограничивались главным образом анализом сравнительно длинного ряда данных по приземной температуре воздуха (ПТВ), хотя рассматривались также и гораздо более ограниченные по объему данные об изменениях протяженности морского ледяного покрова, вертикальному профилю температуры (данные радиозондов) и результаты спутникового СВЧзондирования [63]. С другой стороны, из результатов численного моделирования следует, что более репрезентативными (чем ПТВ) должны быть в этой связи данные об амплитуде годового хода и амплитуде суточного хода температуры воздуха зимой, которые крайне немногочисленны.

Поскольку наиболее инерционным компонентом глобальной климатической системы является Мировой океан, то отсюда следует приоритетность анализа его изменчивости, тем более, что Levitus и др. [128]

обнаружили происходившее за последние 45 лет возрастание теплосодержания верхнего слоя всех океанов. В этой связи Barnett и др. [39] обсудили результаты сравнений численного моделирования теплосодержания верхнего 3 км слоя различных океанов с данными наблюдений. Расчеты сделаны с использованием «параллельной» модели климата (PCM) для интерактивной системы «атмосфера — океан», в которой не используется потоковое приспособление, и относятся к пяти версиям задания роста концентрации ПГ и содержания сульфатного аэрозоля в атмосфере.

Рассматриваемое сравнение показало, что рассчитанные величины аномалий теплосодержания (как отклонений от данных, соответствующих контрольному интегрированию) не отличаются от наблюдаемых значений (за период 1950-1990 гг.) на 0,05 уровне статистической значимости. Исключение (при глобальном осреднении) составляют лишь данные за 1970 гг., когда модель не воспроизводит наблюдавшуюся в течение этого десятилетия аномалию теплосодержания. В целом вероятность того, что рассматриваемые аномалии теплосодержания обусловлены лишь внутренней изменчивостью климатической системы, не превосходит 5%, что позволяет предположить реальность обнаружения антропогенного сигнала изменений климата.

Природа потепления различных океанов характеризуется, однако, существованием значительных различий. Для Атлантического океана (особенно его южного региона) типично наличие интенсивного вертикального перемешивания и быстрого проникновения потепления в глубь океана. В других океанах этот процесс происходит гораздо медленнее. Важный вывод из полученных результатов состоит в необходимости воспроизведения моделями климата изменений не только ПТВ, но и теплосодержания океана. В работе 39 отмечены некоторые слабые места осуществленного численного моделирования и, в частности, оценки внутренне обусловленной изменчивости климата лишь по данным контрольного численного моделирования.

Cal и др. [58] обратили внимание на то, что влияние океана может оказать в будущем значительное воздействие на осадки в глобальных масштабах. Разработки в области этой спорной проблематики, основанные на использовании данных как наблюдений, так и численного моделирования, привели к существенно различным выводам. Наблюдавшееся за последние десятилетия потепление климата характеризовалось пространственной структурой, похожей на структуру, соответствующую явлению Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК). Поскольку, однако, данные о подобной структуре, охватывающие целое столетие, отсутствуют, предполагалось, что наблюдавшаяся структура потепления была проявлением многодесятилетней природно обусловленной изменчивости климата, но не изменения за счет парникового вынуждающего воздействия.

Первоначальные результаты численного моделирования с использованием интерактивных моделей системы атмосфера-оcean показали, что структура потепления, характеризуемая зональным градиентом ТПО в полосе экватора, должна быть сходной с Эль-Ниньо, но некоторые теоретические разработки привели к выводу о сходстве с Ла-Нинья. С целью разрешения подобного противоречия авторы [58] выполнили численное моделирование климата с использованием интерактивной модели, разработанной в Национальном научном центре Австралии (CSIRO Mark 2), которое показало, что первоначально формируется пространственная структура потепления, подобная ЛаНинья (наиболее сильное потепление во внутропических широтах при слабой Ла-Нинья — подобной структуре в тропиках), которая позднее (после 1960 гг.) трансформируется в структуру, похожую на Эль-Ниньо. Такого рода результаты получились при использовании трех версий численного моделирования (помимо контрольного интегрирования на срок 1000 лет), в которых задавался рост концентрации парниковых газов в атмосфере по данным наблюдений (1880-1990 гг.) и согласно сценарию 1592a (1990-2100 гг.). При этом влияние аэрозоля на формирование климата не учитывалось.

В контексте проблемы взаимодействия атмосферы и океана важное значение имеет анализ роли Арктических и Северо-атлантических колебаний. По определению, Арктические колебания (АО) характеризуются первой эмпирической ортогональной функцией (ЭОФ-1) для среднемесячного поля атмосферного давления на уровне моря (SLP) в северном полушарии. Для их пространственной структуры типично наличие «качелей» с переменной знака изменения SLP между Арктикой и средними широтами при высокой степени зональной симметрии. С того времени, когда было введено понятие АО (1998 г.), возникла острая дискуссия о соотношении между АО и Североатлантическими колебаниями (NAO). В этой связи было отмечено, что временная когерентность между высокими и средними широтами наиболее четко выражена в Атлантическом секторе, причем между полями давления в атлантическом и тихоокеанском секторах имеет место лишь очень слабая корреляция. На этом основании был сделан вывод об отсутствии различия между АО и NAO.

Для выяснения обоснованности такого вывода критически важное значение имеет анализ когерентности

вариаций полей SLP в Арктике (N), регионах Атлантического (A) и Тихого (P) океанов и ответ на вопрос, не является ли АО порождением двух независимых «качелей» во всех „трех регионах представляя собой, таким образом, кажущееся (мнимое) АО.

Выполненный Itoh [105] анализ среднемесячных данных наблюдений поля давления за 53 года (1948-2000 г.), относящихся к периоду с ноября по апрель, показал, что вариации SLP в регионах A и P (без учета данных для региона N) являются независимыми. Если же принять во внимание также регион N, то возникают отрицательная корреляция между A и P и два временных ряда, которые зависят от структуры АО в A и P. Корреляция между этими двумя рядами незначительна, но их сумма характеризуется высокой корреляцией с коэффициентом временной изменчивости для АО. Все эти результаты позволяют сделать вывод, что наблюдаемые АО являются почти кажущимися, поскольку совместное рассмотрение двух почти независимых “качелей” на основе анализа данных наблюдений позволяет воспроизвести АО. Наблюдаемое АО оказывается обусловленным NAO и усиленными флюктуациями PNA (структуры с волновым возмущением в евроатлантическом регионе), между которыми корреляция практически отсутствует.

Упомянутая трансформация пространственной структуры потепления климата обусловлена теплыми внутропическими водами, которые претерпевают погружение на глубину и через субтропики достигают тропического пояса, где возникает апвеллинг. Это и является причиной изменения климата. Полученные результаты можно рассматривать как подтверждающие вывод о том, что наблюдавшееся за последнее десятилетия потепление с характерной Эль-Ниньо — подобной пространственной структурой может, по крайней мере отчасти, объясняться влиянием антропогенного обусловленного усиления парникового эффекта атмосферы. Отмечено, однако, что хотя структура наблюдавшегося потепления сходна с рассчитанной, наблюдения, сделанные до 1950 г., обладают меньшей надежностью. Кроме того, недавно (в 1995-1996 гг. и в 1998-2000 гг.) произошло повторное возникновение условий, подобных Ла-Ниньи.

## 2.4. Другие параметры климата

Значительный интерес для диагностики климата имеют данные о температуре почвы. Как отметили Majewicz и др. [130] анализ данных о температуре почвы (GST), полученных в различных регионах Канады путем измерений температуры почвы в скважинах, выявил существенные пространственные различия как величины наблюдавшегося в 20-м веке повышение GST, так и времени начала потепления. Так, например, по данным измерений в 21 скважине, охватывающих период около 1000 лет, было обнаружено потепление (в пределах 1-3 °C), произшедшее за последние 200 лет. Этому потеплению предшествовал длительный тренд похолодания в регионе 80°-96° з.д., 46°-50° с.ш., продолжавшийся до начала 19-го столетия. Согласно данным для 10 скважин в центральной части Канады, температура достигла минимума около 1820 г. при последующем потеплении ~1,5 °C. В западной части Канады за последние 100 лет наблюдалось потепление, достигшее 2 °C.

В работе [130] выполнен анализ более полной информации о GST по данным измерений в 141 скважине на глубине до нескольких сотен метров. Бурение всех скважин происходило в 1970-1990 гг. Полученные результаты выявили наличие интенсивного потепления, начавшегося в 18-19 веках, которое последовало за длительным периодом похолодания (особенно во время Малого ледникового периода), продолжавшимся в течение остальной части тысячелетия. Отчетливо выделяются при этом существенные региональные различия времени наступления современного потепления. Анализ пространственного распределения изменений GST на территории Канады обнаружил существенное замедление начала современного потепления в направлении с востока на запад при более высоком уровне повышения GST в 20-м веке в западной части Канады. Этот вывод подтверждается данными наблюдений приземной температуры воздуха. Заслуживает внимания тот факт, что повышение GST в восточной части Канады началось примерно за 100 лет до начала промышленной эры.

Важными компонентами диагностики климата должны служить характеристики общей циркуляции атмосферы. В частности, как отметили Wallace и Thompson [189], осредненный по кругу широты 55° с.ш. зональный (западно-восточный) компонент ветра может быть представительным индикатором первичной моды аномалий приземного атмосферного давления — годичной моды северного полушария (NAM). Как NAM, так и аналогичный индекс SAM для южного полушария являются типичными сигнатурой симбиотического соотношения между меридиональным профилем западно-восточного переноса в соответствующем полушарии и налагающимися на него волнообразными возмущениями. Количественной характеристикой мод может служить их индекс, определяемый (с использованием соответствующего

нормирования) как коэффициент при первом члене разложения NAM по эмпирическим ортогональным функциям. Наличие положительного индекса NAM (или SAM) означает существование относительно сильного западно-восточного переноса.

Индексы мод (ИМ) характеризуются нерегулярной изменчивостью, сочетающейся с долговременными трендами, обладающими разным знаком. Если ИМ изменяет знак, то это определяется как изменение полярности. Наблюдаемое качелеобразное изменение атмосферного давления в полярных регионах и средних широтах, наиболее ярко проявляющееся в секторе Атлантического океана, получило название Североатлантического колебания (NAO). Наблюдается тенденция усиления или ослабления зимнего стратосферного полярного струйного течения (PNJ) под воздействием флюктуации NAM. Осенью имеет место регулярное усиление PNJ под влиянием радиационного выхолаживания, происходящего в зоне полярной ночи.

Появляется все более данных, свидетельствующих о том, что в периоды января-марта возможна предсказуемость NAM в более продолжительных масштабах времени, чем предполагалось ранее, благодаря связи NAM и вариаций интенсивности PNJ в нижней стратосфере. Хотя на протяжении долгого времени выражался скептицизм относительно возможного воздействия изменений циркуляции в стратосфере на изменения погоды и климата у земной поверхности, в настоящее время эти взгляды постепенно изменяются на противоположные. Имеются убедительные основания считать, что за последние десятилетия зимы в северном полушарии стали менее суровыми. Отчасти это могло быть связано с воздействием «парникового» глобального потепления, но важную роль играли также изменения атмосферной циркуляции.

Осознание существенного вклада динамических факторов в наблюдаемые тренды температуры стало особенно отчетливым за последние годы. В 1995 г. было, например, обнаружено заметное сходство между пространственными распределениями поля приземной температуры воздуха и флюктуаций NAM за последние 30 лет, когда четко обозначился тренд NAM в сторону возрастания индекса NAM. Тренду возрастания индекса сопутствовали мягкие зимы, изменение пространственного распределения осадков в Европе, усиление PNJ и утончение слоя озона в области широт более 40° с.ш. Аналогичные данные имеются и для южного полушария. Главный вывод состоит в том, что, наряду с явлением Эль Ниньо/Южное колебание, моды NAM и SAM выступают как ведущие факторы изменчивости глобальной атмосферы. В этой связи требует особого внимания проблема упомянутого 30-летнего тренда NAM в направлении возрастания ИМ, тем более, что после 1995 г. имел место спад индекса. Вопрос состоит в том, не является ли этот тренд частью многолетних осцилляций.

Данные наблюдений свидетельствуют о том, что в течение XX столетия наблюдалось увеличение осадков на 0,5-1 % за 10 лет на большей части регионов суши в средних и высоких широтах Северного полушария, но уменьшение осадков (примерно 0,3 % за 10 лет) на большей части суши субтропических широт, которое ослабилось, однако, в самые последние годы. Что касается Мирового океана, то отсутствие адекватных данных наблюдений не позволило выявить достоверные тренды осадков. Возможно, что в период последних десятилетий стали более частыми события интенсивных и экстремальных осадков в средних и высоких широтах Северного полушария. Начиная с середины 1970-х гг., более частыми, устойчивыми и интенсивными стали явления Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК). Подобная динамика ЭНЮК отобразилась в особенностях региональных вариаций осадков и НТВ в большей части зон тропиков и субтропиков. Пока еще остающиеся разрозненными и неадекватными данные наблюдений интенсивности и частоты повторяемости тропических и внетропических циклонов, а также местных штормов не позволяют сделать определенных выводов о какихлибо трендах [7, 118].

Важными индикаторами климата являются изменения, происходящие в биосфере. Одно из них проявляется как выцветание кораллов. Важно при этом, что усиливающиеся антропогенные воздействия на коралловые рифы приводят не к их исчезновению, а к трансформации в такие виды, которые более устойчивы к внешним воздействиям [102]. Еще одним индикатором является изменение свойств морских вод [55].

## 2.5. Концентрация парниковых газов и антропогенного аэрозоля в атмосфере

За период с 1750 г. по настоящее время концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере возросла примерно на одну треть, достигнув самого высокого уровня за последние 420 тыс. лет (и, возможно, за последние 20 млн лет), о чем свидетельствуют данные ледяных кернов [104]. Примерно на две трети рост концентрации CO<sub>2</sub> за последние 20 лет обусловлен выбросами в атмосферу за счет сжигания ископаемых топлив (остальное приходится на

долю вкладов от сведения лесов и, в меньшей степени, цементной промышленности). Интересно, что к концу 1999 г. выбросы CO<sub>2</sub> в США на 12% превысили уровень 1990 г., а их дальнейшее возрастание должно увеличить эту цифру еще на 10 % к 2008 г. [187]. Между тем, согласно ПК, выбросы должны быть уменьшены к 2008 г. на 7% по отношению к уровню 1990 г., что требует их суммарного сокращения примерно на 25% (разумеется, это совершенно неосуществимо).

Согласно имеющимся данным наблюдений, в настоящее время как Мировой океан, так и суши являются глобальными стоками CO<sub>2</sub>, причем в океане это обусловлено химическими и биологическими процессами, тогда как на суше связано с усилением «фертилизации» растительности за счет возрастающей концентрации CO<sub>2</sub> и азота, а также с изменениями землепользования. В проблеме глобального круговорота углерода остается, однако, много неясностей [13, 19-21, 121, 122]. Остаются, в частности, неразрешенные противоречия в оценках роли биосфера и океана в формировании глобального круговорота углерода [45].

Не вызывает сомнений, что главным фактором роста концентрации CO<sub>2</sub> в XXI в. останется сжигание ископаемых топлив, причем роль биосфера (как океана, так и суши) как барьера для роста концентрации будет со временем ослабляться. Согласно Отчету МГЭИК-2001, вероятный интервал значений концентрации CO<sub>2</sub> к концу столетия составит 540-970 млн. (доиндустриальное и современное значения равны, соответственно, 280 млн-1 и 367 млн-1). Важным фактором глобального круговорота углерода являются изменения землепользования [103], но даже если весь углерод, выброшенный в атмосферу за счет землепользования, будет усвоен биосферой суши, то это приведет лишь к уменьшению концентрации CO<sub>2</sub> в пределах 40-70 млн-1. Что касается прогнозических оценок концентрации других ПК к 2001 г., то они изменяются в очень широких пределах. Так, например, из некоторых оценок следует, что роль CO как ПГ может сравняться со вкладом метана и окажется существенной также как фактор снижения качества воздуха на большей части Северного полушария.

Концентрация метана в атмосфере возросла по сравнению с наблюдавшейся (по косвенным данным) в 1750 г. в 2,5 раза и продолжает увеличиваться. Ежегодные темпы возрастания концентрации CH<sub>4</sub> замедлились, однако, и стали более изменчивыми в 1990-е гг. по сравнению с 1980 гг. За время с 1750 г. произошло увеличение концентрации закиси азота на 16 %. В результате осуществления рекомендаций Монреальского протокола и последующих дополнений к нему концентрации целого ряда галогенуглеродных соединений, функционирующих как парниковые, так и озоноразрушающие газы, либо возрастили более медленно, чем раньше, либо начали убывать. Однако, с другой стороны, начался быстрый рост концентрации их заменителей и некоторых других синтетических соединений (например, перфторуглеродных соединений PFC и шестифтристой серы SF<sub>6</sub>).

Значительный интерес вызывает динамика закиси азота, включая проблему палеовариаций. Sowers и др. [173], проанализировав динамику круговорота N<sub>2</sub>O за последние 106 тыс. лет, пришли к выводу, что к концу последнего периода оледенения океанические выбросы N<sub>2</sub>O в атмосферу возросли на 40,8 %, что имеет важное значение в контексте круговорота углерода.

Что касается свойств атмосферного аэрозоля и его воздействий на климат, то подробный обзор соответствующей современной информации можно найти в работах [4, 16, 17, 23, 24, 115].

Отметим лишь в связи с этим, что предположение об антропогенной природе современного глобального потепления климата основано на учете, с одной стороны, обусловленного ростом концентрации парниковых газов (прежде всего речь идет о CO<sub>2</sub> и метане) потеплении и, с другой стороны, — похолодания за счет антропогенного аэрозоля. Если, однако, оценки «парникового» потепления можно считать достаточно достоверными, то соответствующие расчеты радиационного возмущающего воздействия (PBB), относящиеся к аэрозолю, являются в сильной степени неопределенными. Не менее важное значение имеет и тот факт, что, если глобальное распределение «парникового» PBB сравнительно однородно, то в случае «аэрозольного» PBB оно характеризуется наличием сильной пространственно-временной изменчивости (включая даже изменения знака PBB).

В этой связи Anderson и др. [33а] подчеркнули, что «неопределенность» аэрозольного PBB может влиять на величину суммарного PBB в такой степени, которая до сих пор не учитывалась адекватно в исследованиях климата. Суждения о причинах приземного потепления за время, прошедшее с начала промышленной революции, и относительной чувствительности климата к внешним воздействиям могут быть поэтому ошибочными. Согласно косвенным оценкам аэрозольного PBB, исходящим из учета наблюдавшегося

потепления климата (в предположении его полностью антропогенной природы), величина аэрозольного РВВ не должна превосходить  $-1 \text{ Вт/м}^2$  при неопределенности в пределах от  $-1$  до  $1,9 \text{ Вт/м}^2$ . К более существенным значениям аэрозольного РВВ привели прямые расчеты: среднее значение составило около  $-1,5 \text{ Вт/м}^2$  при неопределенности, превосходящей  $-3 \text{ Вт/м}^2$ . Несмотря на подобную противоречивость оценок, разработки в области численного моделирования климата отдают, как правило, предпочтение косвенным оценкам.

Если же опираться на результаты прямых расчетов, то оказывается, что суммарное РВВ за период с начала промышленной революции до настоящего времени очень мало или даже отрицательно. Отсюда следует вывод о возможности либо более слабой чувствительности климата, чем предполагавшаяся ранее, либо более существенной роли природно обусловленных изменений климата. Поскольку повышение концентрации парниковых газов в атмосфере продолжается, а содержание аэрозоля не увеличивается, то можно предположить, что к середине 21-го века суммарное среднеглобальное РВВ окажется положительным. По-видимому, «парниковое» РВВ превзойдет «аэрозольное» в период 2030-2050 гг., т.е. антропогенное воздействие проявится как глобальное потепление климата. Критически важное значение имеет в связи с этим разрешение противоречия между результатами косвенных и прямых расчетов РВВ.

Важное значение для диагностики климата имеет анализ данных о компонентах круговорота углерода [13, 19, 20]. Особое внимание привлекает в этой связи бассейн р. Амазонки. Характерная особенность бассейна р. Амазонки состоит в том, что в нем располагаются наиболее продуктивные экосистемы планеты. До сих пор закономерности экодинамики этого региона остаются, однако, малоизученными, причем большое внимание уделялось проблеме взаимодействия круговорота углерода и климата. Региональный баланс углерода в экосистемах суши подвержен сильному влиянию целого ряда факторов, к числу которых принадлежат: поступление биогенов, специфика землепользования, состав атмосферы и климатические условия. Последние оказывают различное воздействие на процессы продуктивности и распада, что может существенно влиять на обмен  $\text{CO}_2$  между атмосферой и экосистемами суши. Было показано, например, что возможной причиной погрешностей оценок «потерянного» стока углерода в 1940-1988 гг. был неучет влияния климата на круговорот углерода.

Botta и др. [53] выполнили анализ закономерностей изменения климата в бассейне р. Амазонки, который выявил наличие нескольких мод изменчивости климата — от сравнительно кратковременных (с периодичностью 3-4 года) до весьма долговременных (24-28 лет). На основе использования модели экосистем сделаны расчеты, продемонстрировавшие существование обусловленных вариациями климата долговременных изменений баланса углерода на суше. Если учитывать только влияние изменений климата, то оказывается что бассейн Амазонки характеризовался практическим отсутствием изменений баланса углерода с конца 1930-х гг. до конца 1950-х гг. ( $-0,42 \text{ ГтC}$  за период 1935-1957 гг.), наличием источника углерода в 1960-е гг. ( $+1,98 \text{ ГтC}$  в 1958-1967 гг.), стока — в 1970-е гг. ( $-2,54 \text{ ГтC}$  в 1969-1978 гг.) и возвращением к слабой изменчивости баланса углерода в 1980-е и 1990-е гг. ( $+0,61 \text{ ГтC}$  в 1979-1985 гг.). Данные наблюдений свидетельствуют о существовании явления «резонанса», состоящего в том, что сдвиг по времени между первичной продукцией и процессами микробного дыхания обуславливает модуляцию уровня обмена углеродом в экосистемах. Этот процесс приводит к усилению кратковременной изменчивости (мода периодичности 3-4 года, связанная с явлением Эль Ни-ньо/Южное колебание), но к подавлению долговременной периодичности (24-28 лет). Полученные результаты указывают на необходимость более полных — исследований динамики экосистем с учетом долговременных изменений баланса углерода и получения адекватных (более долговременных) данных наблюдений.

## 2.6. Палеоклиматическая информация

Важным источником данных для сравнительного анализа современного и палеоклимата является палеоклиматическая информация. Анализ данных палеоклиматических наблюдений свидетельствует о происходивших в прошлом крупномасштабных внезапных изменениях климата, которые возникали в таких условиях, когда климатическая система «пересекала» определенные пороговые уровни. Хотя были обоснованы некоторые механизмы подобных изменений и постепенно совершенствуются методы численного моделирования климата, существующие модели все еще не позволяют достаточно надежно воспроизвести изменения климата в прошлом. При большом внимании к климатическим последствиям роста концентрации парниковых газов в атмосфере, значительно меньше усилий прилагалось к изучению возможных внезапных изменений климата, которые могут иметь естественные причины, усиливаемы антропогенными воздействиями.

Поскольку подобные изменения лежат за пределами проблематики, содержащейся в Рамочной конвенции по проблеме изменений климата, Alley и др. [33] предприняли концептуальное обоснование проблематики крупномасштабны внезапных изменений климата. Хотя наличие долговременных стабилизирующих обратных связей определяло существование на Земле сравнительно устойчивого глобального климата на протяжении примерно 4 млрд. лет, при характерны, масштабах времени от 1 года до 1 млн. лет, доминирующие в климатической системе обратные связи способствовали усилению возмущающих воздействий на климат. Так, например, изменения среднеглобальной приземной температуры воздуха в пределах 5°-6°C на протяжении циклов оледенений было следствиями очень небольших возмущающих воздействий за счет вариации орбитальных параметров.

Еще более удивительно, что за время порядка десятков лет (при отсутствии внешних возмущающих воздействий) возникали региональные изменения, которые достигали 30-50 % по сравнению с изменениями, происходившими в период эпох оледенений. Рассмотрение данных, относящихся к периоду инструментальных наблюдений, свидетельствуют о наличии таких внезапных изменений климата, которые нередко сопровождались серьезными социально-экономическими последствиями. Так, например, произошедшее в северном полушарии в 20-м веке потепление во многих северных регионах осуществлялось посредством двух быстрых «шагов», что позволяет предположить функционирование в данном случае суперпозиции антропогенного тренда и межгодовой природно обусловленной изменчивости, а также привлекло особое внимание к роли явления Эль Ниньо/Южное колебание. Последнее относится и к резкому изменению климатической системы в Тихоокеанском регионе в 1976-1977 гг.

Значительные внезапные изменения регионального климата в период палеоцена выявлены по данным палеоклиматических реконструкций и проявились как изменения частоты ураганов, наводнений и, особенно, — засух. Региональные изменения ПТВ, достигавшие 8°-16°C, возникали за время порядка 10 лет и меньше. Примером крупных внезапных изменений могут служить явления (осцилляции) Дансгаарда-Ошгера (ДО).

В климатической системе существуют многочисленные факторы усиления изменения климата при минимальном возмущающем воздействии. Так, например, иссушение или гибель растительности влечет за собой спад эвапотранспирации и, следовательно, — ослабление осадков, что способствует дальнейшему усилению засухи. В регионах холодного климата образование снежного покрова сопровождается сильным ростом альбедо, что благоприятствует дальнейшему похолоданию (т.наз. «альбедный эффект»).

Существенные климатические обратные связи ассоциируются с динамикой термохалинной циркуляции.

Если факторы усиления изменения или устойчивости климата сравнительно хорошо известны, то совсем иначе обстоит дело с пониманием факторов пространственного распространения аномалий на большие регионы, включая весь земной шар. В этой связи важное значение имеют дальнейшие исследования различных мод общей циркуляции атмосферы и океана (ЭНИОК, осцилляции ДО и др.) и соответствующее совершенствование моделей общей циркуляции. Важнейший аспект проблематики — возможные воздействия внезапных изменений климата на экологию и экономику, поскольку подобные оценки опирались, как правило, на рассмотрение медленных и постепенных изменений.

Внезапные изменения климата были особенно существенными в периоды перехода климата из одного состояния в другое. Поэтому, если антропогенные воздействия на климат могут способствовать смещению климатической системы в сторону порогового уровня, то это означает возможность повышения вероятности внезапных изменений климата. При этом важное значение имеет не только величина, но и скорость антропогенного воздействия на климатическую систему. Так, например, более быстрое потепление климата должно способствовать более сильному ослаблению термохалинной циркуляции, что благоприятствует ускорению смещения к пороговому уровню изменений климата (важно, что в этих условиях динамика термохалинной циркуляции становится менее предсказуемой). Для принятия адекватных решений в области экологической политики исключительно актуально существенное углубление понимания всего спектра возможных внезапных изменений климата. Трудности идентификации и количественной оценки всех возможных причин внезапных изменений климата, низкая предсказуемость вблизи пороговых уровней свидетельствуют о том, что проблема внезапных изменений климата будет всегда отягощена более серьезными неопределенностями, чем проблема медленных изменений. В этих условиях важное значение имеет разработка путей обеспечения устойчивости и высокой адаптационной способности экономики и экосистем.

### 3. Радиационное возмущающее воздействие

Содержащиеся в отчете МГЭИК-2001 [104] оценки изменения радиационного возмущающего воздействия (РВВ), характеризующего усиление парникового эффекта атмосферы и обусловленного ростом концентрации хорошо перемешанных в атмосфере малых газовых компонентов (МГК), дали суммарное значение, равное  $2,42 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , при следующих вкладах различных МГК:  $\text{CO}_2$  ( $1,46 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ),  $\text{CH}_4$  ( $0,48 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ), галогенуглеродные соединения ( $0,33 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ),  $\text{N}_2\text{O}$  ( $0,15 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ). Наблюдавшееся за последние два десятилетия уменьшение общего содержания озона могло привести к отрицательному РВВ, составляющему  $0,15 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , которое может снизиться до нуля в текущем столетии, если меры по защите слоя озона окажутся успешными. Происшедший с 1750 г. рост содержания тропосферного озона (примерно на одну треть) мог породить положительное РВВ около  $0,33 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

Со времени Отчета МГЭИК-1996 существенно изменились оценки РВВ, обусловленного не только чисто рассеивающим сульфатным аэрозолем, рассматривавшимся ранее, но и другими видами аэрозоля, особенно углеродного (сажевого), характеризуемого значительным поглощением солнечной радиации, а также органического морского солевого и минерального аэрозоля. Сильная пространственно-временная изменчивость содержания аэрозоля в атмосфере и его свойств серьезно осложняет оценки воздействия аэрозоля на климат [115]. Новые результаты численного моделирования климата [94-96] радикально изменили представления о роли различных факторов формирования РВВ. Согласно [96], имеет место приближенная взаимная компенсация потепления климата за счет роста концентрации  $\text{CO}_2$  и похолодания, обусловленного антропогенным сульфатным аэрозолем. В этих условиях более важную роль должны играть антропогенно обусловленные выбросы метана (главным образом за счет рисовых чеков) и углеродного (поглощающего) аэрозоля.

Оценки РВВ, сделанные с учетом ПГ и аэрозоля, занимают важное место в обосновании выводов относительно вклада антропогенных факторов в формирование климата. Корректность подобных выводов ограничивают, однако, три обстоятельства. Одно из них состоит в том, что интерактивность такого рода факторов серьезно ограничивает (если не исключает) возможность адекватных оценок вкладов отдельных факторов. Второе, не менее важное, обстоятельство заключается в том, что упомянутые выше расчетные оценки относятся к среднеглобальным значениям и поэтому представляют собой результат сглаживания значений РВВ, для которых характерна сильная пространственно-временная изменчивость. Наконец, наиболее сложная проблема заключается в невозможности достоверной оценки РВВ с учетом его прямого и косвенного компонентов [16, 17, 23, 24]. Согласно оценкам Podgorny и Ramanathan [146], значения прямого РВВ на уровне подстилающей поверхности могут возрастать до  $-50 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , а Chou и др. [62] получили значения, превосходящие  $-100 \text{ Вт}/\text{м}^2$  в период лесных пожаров в Индонезии. Vogelman и др. [188a] получили оценки РВВ за счет лучистого (ИК) теплообмена, из которых следует, что днем у земной поверхности значение РВВ обычно равно нескольким  $\text{Вт}/\text{м}^2$ . По данным Pavalonis и Key [141a] интегральное РВВ на уровне подстилающей поверхности в Антарктике варьирует в пределах  $0,4\text{--}50 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Оценки Yabe и др. [197a] привели к среднему значению, равному  $-85,4 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , а по данным Liepert и Tegen [129a] РВВ в США составляло от  $-7$  до  $-8 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

Совершенно прав Rossow [154], предостерегая: «Продолжение попыток изолировать и описать большее число климатических обратных связей, а также количественно оценить ранее предложенные таким же образом, как раньше, стало очень запутывающим и дезориентирующим, поскольку применение простой линейной теории к сложной и нелинейной климатической системе, состоящей из многих подсистем, совершенно неприемлемо».

Требующим учета климатообразующим фактором являются изменения внеатмосферной солнечной радиации. Вклад этих изменений в РВВ за период с 1750 г. мог достигать примерно 20 % по сравнению с вкладом  $\text{CO}_2$ , что обусловлено главным образом усилением внеатмосферной инсоляции во второй половине XX в. (важное значение имеет учет 11-летнего цикла инсоляции). Однако все еще далеки от понимания возможные механизмы усиления воздействия солнечной активности на климат [90, 113].

### 4. Результаты численного моделирования климата и их достоверность

Проблема численного моделирования была детально проанализирована во многих работах (один из недавних критических обзоров опубликован Soon и Balinas [171a]). Ограничимся поэтому лишь краткими комментариями.

Несомненные достигнутые за последние годы значительные успехи в разработке более полных, чем ранее, численных моделей климата с (как правило, интерактивным) учетом главных компонентов климатической системы «атмосфера — гидросфера — литосфера — криосфера — биосфера». Наконец, приобретает, например, черты реальности интерактивное описание глобального круговорота углерода в рамках теории климата [13, 20, 56, 72a, 121, 147, 192], а также происходящих в тропосфере химических процессов [129]. Чрезвычайная сложность моделей климата и многочисленность используемых в них схем эмпирической параметризации различных (особенно подсеточных) процессов затрудняет анализ адекватности моделей, особенно с точки зрения их применения для прогноза климата будущего. Именно поэтому предпринятые до сих пор попытки сравнения результатов численного моделирования климата с данными наблюдений были весьма схематичными, противоречивыми и неубедительными. Проблема верификации моделей климата остается исключительно острой.

Неубедительны, например, выводы, касающиеся векового хода среднегодовой среднеглобальной ПТВ за последние полтора столетия. Если, согласно Отчету МГЭИК-1996, имеет место хорошее согласие наблюденного и рассчитанного (с учетом роста концентрации CO<sub>2</sub> и сульфатного аэрозоля) хода ПТВ, то, следуя [96], необходимо считать более важным учет метана и углеродного аэрозоля. К сожалению, в обоих этих случаях выводы покоятся на произвольных суждениях, а согласие с наблюдениями является в действительности не более, чем подгонкой. К тому же ясно, что содержательное сравнение теории с наблюдениями должно включать рассмотрение региональных изменений климата (не ограничиваясь ПТВ), и не только средних значений параметров климата, но и их изменчивости, характеризуемой моментами более высокого порядка.

Согласно работе [60], «антропогенные аэрозоли оказывают сильное влияние на альbedo облаков, причем оценки среднеглобального возмущающего воздействия дали такого же порядка величины (но противоположные по знаку), что и обусловленное парниковыми газами ... современные разработки указывают на то, что величина аэрозольного возмущающего воздействия может быть даже больше, чем предполагаемая».

«Ахиллесова пята» моделей климата — параметризация динамики биосферы [85, 113, 198]. Ранее в этой связи было выполнено довольно много численных экспериментов с целью оценки влияния вырубки лесов в бассейне р. Амазонки, которые привели к выводу, что в случае полного обезлесивания этого региона (замены влажных тропических лесов травяным покровом) должен произойти спад испарения с земной поверхности и осадков, но повышение температуры поверхности. Возникающее в таких условиях повышение приземной температуры воздуха окажется в пределах от 0,3° до 3°C. Подобные изменения обусловлены главным образом повышением альbedo поверхности и уменьшением влажности почвы. Последствием связанного с этим уменьшения потоков энергии и водяного пара в атмосферу и ослабления влажной конвекции и выделения скрытого тепла станет спад прогревания толщи атмосферы, что породит двоякого рода изменения атмосферной циркуляции: 1) изменения восходящих и нисходящих потоков воздуха в тропиках и субтропиках (ячейки циркуляции Гадлея); 2) изменения условий генерации планетарных волн (волны Россби), распространяющихся из тропиков в средние широты).

Обстоятельное численное моделирование климатических последствий обезлесивания в тропиках в условиях прогрессирующего парникового потепления за счет удвоения концентрации CO<sub>2</sub> осуществили авторы [198], используя модель глобального климата CCM-Oz, разработанную в Национальном Центре исследований атмосферы (США). Расчеты привели к выводу о сильном спаде эвапотранспирации (-180 мм/год) и осадков (-312 мм/год), а также повышении ПТВ на 3,0 К в бассейне р. Амазонки. Аналогичные, но более слабые изменения имеют место в Юго-Восточной Азии (спад осадков, равный -172 мм/год, и потепление на 2,1 К). Еще более слабые изменения возникают в Африке (осадки возрастают на 25 мм/год). Анализ результатов энергобалансовых оценок привел к выводу, что потепление климата происходит не только за счет усиления парникового эффекта, но и вследствие обусловленного обезлесиванием уменьшения эвапотранспирации.

Статистически существенные изменения климата за счет обезлесивания в тропиках возникают и в средних широтах. В Отчете МГЭИК-1996 содержится вызвавший острую дискуссию вывод: «Баланс имеющихся данных предполагает наличие различимого влияния человека на глобальный климат», а также утверждение, что «антропогенный сигнал» уже проявляется на фоне природно обусловленной изменчивости климата. Согласно Отчету МГЭИК-2001, «Исследования по обнаружению и атрибуции регулярно выявляют свидетельства наличия антропогенного сигнала в данных наблюдений климата за последние 35-50 лет... Природно обусловленные воздействия могли играть роль в наблюдаемом потеплении в течение первой

половины XX столетия, но не способны объяснить потепление во второй половине столетия». Здесь же содержится, однако, и такое суждение: «Реконструкция климата за последние 1000 лет и модельные оценки его природно обусловленных изменений свидетельствуют о малой вероятности того, что наблюдавшееся во второй половине XX столетия потепление климата могло иметь полностью природное происхождение», а вслед за этим подчеркнута высокая степень неопределенности полученных количественных оценок антропогенного потепления, особенно с точки зрения вкладов различных факторов потепления (в первую очередь это относится к атмосферному аэрозолю).

Противоречивость и неубедительность процитированных суждений и выводов настолько очевидны, что не требуют комментариев. Упомянутые и другие выводы Отчета МГЭИК-2001 были подвергнуты серьезной критике во многих публикациях. Безусловно ведущую роль в обосновании прогнозов климата будущего должны играть интегральные модели, описывающие динамику взаимодействия социально-экономического развития и природы [19, 20, 25, 119]. Остается неясным, однако, какой степени реалистичности прогнозов можно достичь на основе использования подобных моделей запредельной сложности при наличии неадекватной входной информации. Следует думать, что по крайней мере в обозримом будущем интегральные модели могут служить лишь средством получения весьма условных сценариев.

Согласно данным, для разнообразных сценариев роста концентрации ПГ и аэрозоля среднеглобальная среднегодовая ПТВ должна повыситься за период 1990-2100 гг. в пределах 1,4°-5,8°C [104], тогда как, согласно МГЭИК-1996, подобный интервал составлял 1,5°-3,5°C. По мнению Wigley и Raper [193], с 90 %-ной вероятностью упомянутый интервал ПТВ составляет 1,7°-4,9°C. Симптоматично в этой связи, что совершенствование и увеличение числа моделей породило не сужение, а расширение расходимости этого процесса. Важно при этом, что расхождения рассчитанных значений ПТВ, соответствующих различным моделям при задании одинакового сценария выбросов МГК, и одной модели с использованием различных сценариев выбросов, примерно одинаковы.

Что касается прогнозов регионального климата, то они все еще не обладают статистической достоверностью, т.е. не заслуживают доверия. Вероятно, можно считать достоверным вывод о том, что потепление во многих регионах суши окажется более быстрым, чем среднеглобальное, особенно в высоких широтах в холодную половину года. Особенно заметным оказалось предвычисленное потепление климата в северных регионах Северной Америки, а также в северной и центральной Азии, где оно примерно на 40 % превосходит среднеглобальное. Напротив, на юге и юго-востоке Азии летом и на юге Южн. Америки зимой потепление должно быть слабее среднеглобального. Численное моделирование свидетельствует о предстоящем повышении влагосодержания атмосферы и усилении осадков; в частности, возможно, усилении осадков в регионах умеренных и высоких широт Северного полушария, а также в Антарктике зимой (этот вывод представляет особый интерес в контексте проблемы динамики ледников). В низких широтах вероятно наличие регионов, в которых будут наблюдаться как усиление, так и ослабление осадков (в зависимости от выбора сценариев выбросов МГК).

В связи с большим интересом к возможным экстремальным событиям в Отчете [104] содержатся соответствующие прогностические оценки, сопоставленные с данными современных наблюдений (таблица). Эта проблема детально обсуждена в монографиях [7, 113]. Расплывчатость содержащихся в таблице выводов определяется дефицитом данных наблюдений и недостоверностью результатов численного моделирования.

Расчеты антропогенно обусловленных («парниковых») изменений климата свидетельствуют о возможности ослабления в будущем термохалинной циркуляции (ТНС) в океанах Северного полушария. Однако даже модели, выявляющие подобное ослабление, все еще отображают сохранение «парникового» потепления в Европе. Пока что остается неясным, может ли произойти необратимый коллапс ТНС и какие пороговые условия соответствуют такого рода коллапсу. Ни одна из существующих моделей не предсказывает полного прекращения ТНС в течение ближайших 60 лет.

Согласно результатам численного моделирования процесса «глобального потепления», должно произойти дальнейшее сокращение протяженности снежного и морского ледяного покрова в Северном полушарии. Ожидается дальнейшее отступление ледников (за исключением ледовых щитов Гренландии и Антарктики, включая Западную Антарктику) в XXI в. При заданных сценариях роста концентрации ПГ в период 1990-2100 гг. может произойти подъем уровня Мирового океана в пределах 0,14-0,8 м (в среднем около 0,47 м), что в 2-4 раза превосходит скорость подъема уровня океана в XX в.

## Наблюдаемые и прогнозируемые аномальные изменения погоды и климата

Явление	Наблюдения (вторая половина XIX в.)	Прогноз (2050-2100 гг.)
Аномальные максимумы температуры • число необычно жарких дней Повышенный индекс тепла	Почти все регионы суши	Подобные аномалии выявляются большинством моделей «
Аномально интенсивные осадки	Многие регионы суши	«
Аномально высокие минимумы температуры и сокращение числа холодных дней	Многие регионы в средних и высоких широтах Северного полушария	«
Уменьшение числа дней с заморозками	Почти все регионы суши	Возможны с учётом повышения минимальных температур Почти все модели
Снижение амплитуды суточного хода температуры	«	«
Летнее иссушение континентов	Многие регионы суши	Некоторые модели
Усиление максимального ветра • тропических циклонов	Некоторые регионы Не наблюдалось, но число изученных случаев мало	«
Усиление средних и максимальных осадков в тропических циклонах	Недостаточно данных	

Последствия антропогенных воздействий на глобальный климат должны сохраняться на протяжении длительного времени, что определяет следующие специфические особенности соответствующих процессов:

- предполагаемая стабилизация уровня концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере требует значительного сокращения выбросов углекислого газа в атмосферу, а также еще более существенного уменьшения выбросов других ПГ;
- влияние выбросов углекислого газа на концентрацию CO<sub>2</sub> в атмосфере является долговременным. Даже через несколько столетий после прекращения выбросов доля углекислого газа, остающегося в атмосфере, может достигать 20-30 % по отношению ко всему объему выбросов;
- повышение среднеглобальной ПТВ и уровня Мирового океана (за счет термически обусловленного расширения) может также продолжаться на протяжении сотен лет после стабилизации уровня концентрации CO<sub>2</sub> ввиду гигантской инерции океана;
- реакция ледовых щитов на происходившие ранее изменения климата способна продолжаться в течение тысячелетий после его стабилизации. Согласно модельным расчетам, поддержание на протяжении тысячелетий локального среднегодового потепления более 3°C способно привести к полному таянию ледникового щита Гренландии. При локальном потеплении, составляющем 5,5°C, должно произойти повышение уровня Мирового океана (за счет таяния Гренландских льдов) на 3 м за 1000 лет. Из современных моделей динамики ледового щита Западной Антарктики следует, что процесс его таяния может обусловить повышение уровня океана не более 3 м за 1000 лет, но при этом следует учитывать слабую изученность возможной долговременной динамики криосферы Западной Антарктики.

Выводы относительно наблюдаемых и, тем более, возможных в будущем изменений климата отягощены серьезными неопределенностями. Это относится как к данным диагностики современной динамики климата, так и к результатам численного моделирования. Согласно МГЭИК-2001 [104], разработки в следующих восьми направлениях следует рассматривать как приоритетные:

- прекращение дальнейшей деградации сети обычных метеорологических наблюдений;
- продолжение исследований в области диагностики глобального климата с целью по-лучения длинных рядов данных наблюдений при более высоком пространственно-временном разрешении;
- достижение более адекватного понимания взаимодействия между компонентами климатической системы океана (в том числе его глубинных слоев) в их взаимодействии с атмосферой;
- более реалистическое понимание закономерностей долговременной изменчивости климата;

- более широкое применение «ансамблевого» подхода при численном моделировании глобального климата в контексте вероятностных оценок;
- разработки интегральной совокупности («иерархии») глобальных и региональных моделей при особом внимании к численному моделированию региональных воздействий и экстремальных изменений;
- обеспечение интерактивных физико-биологических моделей климата и моделей социально-экономического развития с целью анализа взаимосвязей динамики окружающей среды и общества.

К этому следует добавить, в частности, что: — для понимания закономерностей современного климата и прогноза климата важное значение имеют исследования палеоклимата, особенно таких его внезапных изменений, которые происходили за сравнительно короткие промежутки времени; — интенсивное развитие спутникового ДЗ еще не обеспечило получения адекватной глобальной информации по диагностике климатической системы, поскольку функционирование существующей сейчас системы спутниковых и обычных наблюдений далеко от оптимального.

Несмотря на значительные усилия и успехи в разработке Глобальной системы наблюдений климата (GCOS), Глобальной системы наблюдений океана (GOOS), Глобальной системы наблюдений суши (GTOS) и (позднее) Интегрированной глобальной системы наблюдений (IGOS), задача оптимизации глобальной системы наблюдений остается нерешенной. Все еще не достигнуто необходимого понимания того факта, что, помимо накопления длинных и однородных рядов данных наблюдений в интересах диагностики климатической системы, необходимы проблемно ориентированные («сфокусированные») наблюдательные эксперименты с целью решения таких, например, проблем, как глобальный круговорот углерода, антропогенные воздействия на стратосферный и тропосферный озон, динамика процессов в системе «аэрозоль — облака — радиация», биотическая регуляция окружающей среды и др.[10-15, 20].

Содержащиеся в документах МГЭИК оценки уровня антропогенных воздействий на глобальный климат характеризуются расплывчатостью. Как справедливо отметили Reilly и др. [152], главной причиной подобной ситуации является отсутствие количественных оценок неопределенности получаемых результатов (это относится, например, к предполагаемому повышению ПТВ в пределах 1,4°-5,8°C). Понятно, что в такого рода условиях принятие решений, касающихся экологической политики (это относится, например, к ПК), опирается на суждения лишенные серьезного научного обоснования. Wright и Erickson [197] обосновали необходимость учета возможных катастрофических изменений окружающей среды при комплексном (интегральном) численном моделировании изменений климата (IA), что имеет важное значение, в частности, при количественном обосновании допустимого уровня повышения концентрации парниковых газов (ПГ) в атмосфере. Целью многих моделей IA является поиск сбалансированного соотношения между затратами на снижение выбросов ПГ и экономическими выгодами от предотвращения разрушительных последствий природных катастроф. Решение подобных задач оптимизации экологической политики опирается обычно на использование приближенных моделей климата в сочетании с учетом таких факторов как обусловленные развитием экономики выбросы ПГ и связанные с изменениями климата ущерб и затраты на снижение выбросов, имея в конечном счете целью обоснование модели оптимального роста экономики. Главный вывод, следующий из такого рода моделей IA, состоит в том, что с точки зрения экономических соображений допустимо лишь очень небольшое снижение выбросов.

В связи с отмеченными обстоятельствами в работе [197] сделан обзор современного состояния науки о возможных катастрофических изменениях окружающей среды с учетом трех типов катастроф. Один из них — очень долговременные изменения ледников, порождаемые глобальным потеплением. Другой тип катастроф — изменения общей циркуляции океана, следствиями которых могут быть такие разнообразные локальные проявления как штормы, засухи, экстремумы приземной температуры воздуха, а в региональных масштабах — Эль Ниньо и Североатлантические колебания и другие явления. Разумеется, важное значение имеют изменения общей циркуляции атмосферы и океана в глобальных масштабах. Некоторые из перечисленных явлений могут быть внезапными и непредсказуемыми. Третий тип — возможное таяние ледников Зап. Антарктики. Биофизические катастрофы (обратные связи между динамикой ПГ и климата, обусловленные биогеохимическими процессами на суше и в океане, потери биоразнообразия, изменения локальных экосистем и др.) оставлены за пределами рассмотрения. Wright и Erickson [197] детально проанализировали предположения, которые, как правило, лежат в основе разработок IA. Одно из них состоит в том, что в качестве ключевого параметра для'] обоснования экологической политики обычно рассматривается среднеглобальная ПТВ, которая считается монотонно зависящей от концентрации ПГ, что определяет постепенность воздействий на развитие экономики.

Несомненно, однако, что необходимо принимать во внимание также изменения таких величин и явлений как осадки, засухи, штормы, экстремумы температуры. Представление о климате будущего как таком же, но более теплом, является, конечно, слишком далеко идущим упрощением. Исключительно важное значение имеет адекватное понимание роли и масштабов катастроф, которые чаще всего рассматриваются как события, порождающие сильные разрушения, но очень мало вероятные. Требуют более адекватного определения и более достоверной количественной оценки пороговые уровни значений климатических параметров, характеризующие неизбежность катастроф. Целый ряд опасных геофизических явлений до сих пор не изучены в достаточной степени. К таким явлениям относятся, например, таяние вечной мерзлоты и выбросы в атмосферу кратеров, способные значительно усилить парниковый эффект атмосферы, и также таяние ледяного щита Зап. Антарктики, которое может обусловить повышение уровня Мирового океана на 4-7 м, и изменения термохалинной циркуляции.

Несмотря на нереалистичность предсказаний климата до 2100 г., значительный интерес представляют сценарии климата будущего, основанные на использовании палеоклиматических аналогов. Как отметили Berger и др. [43], одной из наиболее удивительных особенностей динамики палеоклимата остается так называемый 100-тысячелетний цикл, который имеет несомненно важное значение в контексте возможных в будущем изменений климата. Характерная особенность 100-тысячелетнего цикла состоит в наличии чередования продолжительных периодов оледенения, за которыми следовали относительно короткие (10-12 тыс. лет) межледниковые периоды. Поскольку настоящее время соответствует межледниковому периоду (голоцену), предполагалось, что предшествующий эймский межледниковый период (с максимумом примерно за 125 тыс. лет до настоящего времени — MIS-5e) может рассматриваться как аналог современного климата.

Имея в виду, что продолжительность голоцена уже составляет около 10 тыс. лет, считалось также, что достаточно скоро (в геологических масштабах) может наступить очередной период оледенения. Анализ результатов численного моделирования палеоклимата, осуществленного с использованием разработанной в Ливерморской лаборатории (США) двухмерной с модели глобального климата (LLN 2-D), показал, однако, что современный межледниковый период должен быть необычно продолжительным [43]. Если исключить сценарии с заданием неизменной и низкой (215 млн-1) концентрации  $\text{CO}_2$ , то оказывается, что прогнозируемая продолжительность может составлять до 50 тыс. лет. Это означает, что до следующего максимума оледенения остается около 40 тыс. лет после завершения современного периода, когда максимальный объем льда в Северном полушарии достигнет примерно  $30 \cdot 10^6 \text{ км}^3$ . Вслед за этим (через 120 тыс. лет по отношению к настоящему времени — AP) должно произойти потепление климата, которое, однако, не может быть охарактеризовано как соответствующее межледниковому периоду.

Согласно данным модели LLN 2-D, предполагаемый в 21-22 столетиях антропогенный рост концентрации  $\text{CO}_2$  окажется достаточным для обеспечения полного таяния гренландских ледников. Подобная ситуация может возникнуть при задании как сценария с постоянной концентрацией  $\text{CO}_2$ , превышающей 290 млн-1 (при таянии в период 30-55 тыс. лет AP), так и сценария с уменьшением концентрации от 750 до 300 млн-1 через 650 лет AP и последующим возвращением к природно обусловленному уровню концентрации  $\text{CO}_2$  (в этом случае полное таяние гренландских ледников должно произойти в период 8-15 тыс. лет AP).

Berger и др. [43] высказали предположение, что необычно долгая продолжительность голоцена связана с изменением формы земной орбиты, которая окажется почти круговой в течение последующих нескольких десятков тысяч лет, что обусловлено главным образом влиянием 400-тысячелетнего цикла эксцентриситета. В таком случае палеоаналогом голоцена должны быть данные не MIS-5e, а MIS-11, отстоящие по времени на 400 тыс. лет. Последний вывод диктует необходимость получения соответствующих палеоклиматических данных.

В контексте прогностической проблематики возникает вопрос о том, имеют ли вообще смысл прогнозы до 2100 г., учитывая невозможность предсказания перспектив глобального социально-экономического развития. Ответ на этот вопрос совершенно очевиден: возможны лишь совершенно условные сценарии, опираться на которые при принятии политических решений было бы нецелесообразно и даже опасно. Это тем более относится к региональным сценариям, которые (а не среднеглобальные оценки, подобные «средней температуре по больнице») и представляют практический интерес. Хотя Allen и др. [32] пытаются оправдать отсутствие количественных оценок неопределенностей, подобную логику нельзя, конечно, считать приемлемой, а тем более — ссылку на то, что «МГЭИК находилась в 1990 г. под значительным давлением, побуждавшим сделать заявление, приписывающее наблюдавшиеся изменения климата антропогенному воздействию, поскольку иначе это сделает кто-то другой».

## 5. Заключение

Иллюстрацией исключительной сложности понимания закономерностей современной динамики климатической системы и тем более оценки возможных изменений климата в будущем является сохраняющееся до сих пор отсутствие достоверных оценок вклада антропогенных факторов в формирование современного климата при бесспорном понимании того, что, например, антропогенно обусловленное усиление парникового эффекта атмосферы (за счет роста концентрации парниковых газов в атмосфере) должно порождать определенные изменения глобального климата. Весьма опасно укоренившееся в связи с этим примитивное понимание глобального потепления как повсеместного повышения температуры, усиливающегося с широтой. Как показал осуществленный в работе [1] анализ данных наблюдений в высоких широтах Северного полушария, подобные суждения совершенно не соответствуют действительности.

Для оценки реалистичности прогнозов климата критически важное значение имеет проверка адекватности моделей с точки зрения воспроизведения современных наблюдаемых изменений и палеодинамики климата (по косвенным данным). Что касается использования данных современных наблюдений, ситуация является довольно парадоксальной: опыт проверки адекватности почти ограничивается использованием осредненных значений температуры при очевидной необходимости использования разнообразной другой информации и моментов более высокого порядка. Goody [82] справедливо привлек внимание к перспективности использования данных спутниковых наблюдений спектрального распределения уходящей длинноволновой радиации. К сожалению, до сих пор не получила должного признания проблема адекватного планирования систем наблюдений климата [113, 114]. Современная парадоксальная ситуация характеризуется тем, что гигантская избыточность крайне слабо систематизированных данных спутниковых наблюдений сочетается с уже упоминавшейся деградацией обычных (прямых) наблюдений.

Задача проверки адекватности моделей глобального климата путем сравнения результатов численного моделирования с данными наблюдений является исключительно сложной. Чаще всего она решалась на основе сравнения длинного ряда данных о среднегодовой среднеглобальной приземной температуре воздуха, причем главный вывод, несмотря на существенные (иногда кардинальные) различия в учете климатообразующих процессов, был практически всегда одинаковым: результаты расчетов в целом согласуются с данными наблюдений. Другая характерная черта подобных разработок — вывод о значительном (или даже доминирующем) климатообразующем вкладе антропогенных факторов и прежде всего — парникового эффекта (без необходимого количественного обоснования). Разумеется, подобный подход к верификации моделей нельзя принимать всерьез, поскольку: 1) современные модели климата все еще крайне несовершенны с точки зрения интерактивного учета биосферных процессов, взаимодействия аэрозоль — облака — радиация и многих других факторов; 2) единственный длинный (100-150 лет) ряд данных наблюдений ПТВ далек от адекватности, с точки зрения расчетов среднегодовых среднеглобальных значений ПТВ.

Beven [44] обсудил концептуальные аспекты численного моделирования окружающей среды, связанные с анализом возможностей имитационного моделирования с точки зрения реалистического воспроизведения природных процессов. В настоящее время компьютерное моделирование получило очень широкое развитие и активно применяется как инструмент теоретических исследований окружающей среды, а также с целью решения разнообразных практических задач и обоснования рекомендаций для лиц, принимающих решения. Особый интерес в этой связи приобретают прогнозы возможных воздействий изменений глобального климата и режима функционирования систем использования грунтовых вод, долговременные геоморфологические прогнозы и оценки воздействий подземных хранилищ радиоактивных выбросов. Во всех этих случаях неявным образом предполагается, что решение перечисленных проблем возможно, несмотря на нелинейность и открытую природу рассматриваемых природных систем, а также положенные в основу численного моделирования разнообразные предположения.

Подобное предположение, разумеется, очень наивно, поскольку и с методологической («философской») и с научной точки зрения оно исходит из презумпции достаточной изученности рассматриваемых систем. Очевидно, однако, что многие природные системы настолько сложны, что существующие представления о них далеки от адекватных. Всегда оказывается так, что реальные природные системы гораздо более сложны, чем их аналоги, описываемые математическими моделями. Один из наиболее ярких примеров — численное моделирование климата, связанное с использованием подсеточной параметризации многих климатообразующих процессов (на поверхности суши, в атмосфере и т.п.), что влечет за собой не только

подчас далекую от реальности схематизацию рассматриваемых процессов, но и необходимость введения большого числа недостаточно надежно определяемых эмпирических параметров.

Особое место занимают проблемы адекватности граничных и других условий. В гидрологии очевидна, например, важность принципа сохранения массы. Однако удовлетворение этого принципа для определенного бассейна водосбора невозможно, ввиду недостаточной надежности данных наблюдений. Следствием значительной произвольности входных параметров моделей является возможность получения приемлемых результатов численного моделирования с использованием различных моделей, которую можно назвать «равнофинальностью» моделей. Выбор же наиболее надежных моделей следует осуществлять, отдавая предпочтение поведенческим моделям, описывающим эволюцию процессов. Подобный подход был реализован в рамках методологии CLUE оценок неопределенности обобщенного подобия, которая уже получила достаточно широкое применение. Упомянутые и другие соображения позволяют сформулировать следующие принципы, определяющие необходимость того, что:

1. Формализованная модель окружающей среды всегда может быть только приближенным отображением действительности.
2. Важен учет пространственной неоднородности местных условий при формулировании граничных условий.
3. Существует возможность «равнофинальности» получаемых результатов.
4. Несомненен приоритет поведенческих моделей, важное значение для применения которых имеют оценки прогнозических неопределенностей.
5. Критически важное значение имеют адекватные данные наблюдений для анализа ограничений характеризующих поведенческие модели.

Выполненные за последние годы разработки по программам GCOS, GOOS, GTOS, IGOS, безусловно полезны, но они все еще не содержат обоснования оптимальной глобальной системы наблюдений (этот, вопрос детально обсуждался в монографиях [113, 114], а в самое последнее время в работах [81-84]. Главная причина подобной ситуации кроется в несовершенстве моделей климата, которые должны составить концептуальную основу планирования наблюдений, уточняемую по мере усовершенствования моделей. В этой связи следует подчеркнуть, что нужны не иллюзорные утверждения о достаточной реалистичности моделей глобального климата, а анализ расхождений конкретно раскрывающий «слабые места» моделей. Очевидно при этом, что предметом рассмотрения должна быть совокупность параметров климата (а не только ПТВ), и главное внимание должна привлекать воспроизводимость моделями изменений климата (включая хотя бы моменты второго порядка).

Палеоданные свидетельствуют о наблюдавшихся в геологическом прошлом сильнейших и иногда очень быстрых изменениях климата. Alverson и др. [32a] отметили, например, что изменения уровня океана превосходили 100 м при устойчивой скорости изменений более 1 м за 1000 лет. Подобные изменения намного больше предполагаемых антропогенно обусловленных изменений при удвоении концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, что отображает необоснованность опасений по поводу антропогенных воздействий на климат. Проблема состоит не столько в том, чтобы обеспечить детальный прогноз климата в будущем, сколько в необходимости проанализировать чувствительность современного общества и его инфраструктур к возможным изменениям климата (стоит напомнить, что для многих стран, включая Россию и США (см. [14, 30]), прогнозируемое потепление скорее благо, чем опасность). В этой связи ценность палеоданных как предиктора климата может быть более высокой, чем условных сценариев, полученных на основе численного моделирования.

Что касается прогнозов климата и содержащихся в ПК рекомендаций о сокращении выбросов ПГ в атмосферу, то ясно, что первые нельзя интерпретировать иначе как условные сценарии, а вторые соответственно следует рассматривать как лишенные реальных оснований. Таким образом, существует острая необходимость в течение ближайшего времени осуществить ревизию Международной рамочной конвенции по проблеме изменений климата (FCCC) и отказ от необоснованных, нереальных и опасных для социально-экономического развития рекомендаций, содержащихся в ПК [186, 187]. Полный провал состоявшейся в ноябре 2000 г. в Гааге 6-й Конференции представителей стран, подписавших FCCC, как и последующего совещания в Бонне, свидетельствует о бесплодности этих долгостоящих конференций и необходимости серьезного научного обсуждения проблемы глобальных изменений климата, свободного от доминирования адептов концепции глобального потепления. Реальность состоит в том, что выбросы ПГ в атмосферу попрежнему возрастают (и этот процесс будет продолжаться), а все рассуждения относительно важности «гибких рыночных механизмов» («торговля выбросами» и т.п.) целиком принадлежат к сфере риторики.

Soros [172] уместно напомнил, что в настоящее время выбросы CO<sub>2</sub> в США составляют около 16 % по отношению к уровню 1990 г., в странах Европейского Союза (в среднем) — 6 %, в Японии — около 5 %, а в Австралии — примерно 24 %. Таким образом, 1990 гг. были периодом не стабилизации, а повышения уровня выбросов углекислого газа в атмосферу. К тому же, нет никаких признаков того; что предпринимаются какие-либо серьезные усилия по сокращению выбросов (спад выбросов CO<sub>2</sub>, наблюдавшийся в Германии и Великобритании, не имеет никакого отношения к рекомендациям ПК). Этот же автор справедливо выразил опасения по поводу потери доверия к ПК и очевидного отсутствия перспективы его ратификации ведущими индустриальными странами.

В июле 2002 г. была начата, а в 2003 г. завершена подготовка рассчитанного по 10 лет стратегического плана для Программы наук об изменении климата (CCSP), которая преследует пять главных целей [181]:

1. Углубление знаний о климатах и окружающей среде прошлого и в настоящее время, включая природно обусловленную изменчивость, а также совершенствование понимания причин наблюдаемой изменчивости климата.
2. Получение более достоверных количественных оценок факторов, определяющих изменения климата Земли и связанных с этим систем.
3. Снижение уровней неопределенности прогнозических оценок изменений в будущем климата и связанных с ним систем.
4. Достижение лучшего понимания чувствительности и приспособляемости природных и регулируемых экосистем, а также антропогенных систем к климату и к глобальным изменениям вообще.
5. Анализ возможностей использования и распознавания пределов развивающегося понимания управления риском в контексте проблемы изменений климата.

В CCSP обсуждены конкретные пути достижения перечисленных главных целей. В этой связи справедливо отмечено, что к числу приоритетов перспективных разработок должно принадлежать снижение уровней неопределенностей в областях такой проблематики как: свойства аэрозоля и его влияние на климат; климатические обратные связи и чувствительность (в первую очередь для полярных регионов); круговорот углерода. Ключевыми приоритетами CCSP станут также разработки, касающиеся систем наблюдений климата (важное значение имеет создание Рабочей группы по наблюдениям Земли — GEO) и дальнейшего развития численного моделирования климата (прежде всего с целью более адекватного учета «физики и химии» климата).

Как обоснованно заметил Tol [182], «... мы не должны заблуждаться относительно того, что мир без ископаемых топлив будет раен. Хотя возобновимые источники энергии выглядят привлекательно в малых масштабах, их крупномасштабные перспективы неясны. Стали очевидными, например, пределы гидроэнергетики и ограниченные возможности ветроэнергетики». Все это отображает ту несомненную истину, что необходимы поиски путей развития цивилизации и обоснование адекватной экологической политики в контексте динамики интерактивной системы «общество — природа» [203а]. Решение подобной задачи потребует беспрецедентных кооперативных усилий специалистов в областях естествознания и наук об обществе.

## Литература

1. Адаменко В.Н., Кондратьев К.Я. (1999) Глобальные изменения климата и их эмпирическая диагностика //Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия / Под ред. Израэля Ю.А., Калабина Г.В. и Никонова В.В. Апатиты: Кольский научный центр РАН, с. 1737.
2. Бомер-Кристиансен С. (2000) Кто и каким образом определяет политику, касающуюся изменений климата? // Изв. РГО т.132. вып.3. с. 622.
3. Борисенков Е.П. (2003) Парниковый эффект. Проблемы, мифы и реальность. Астраханский Вестник Экологического Образования №1(5) с. 5-12.
4. Васильев А.В., Мельникова И.Н. (2002) Коротковолновое солнечное излучение в атмосфере Земли. Расчеты. Измерения. Интерпретация. СПб НЦ РАН. С.-Петербург, 388 с.
5. Володин Е. М., Дианский Н.А. (2003) Отклик совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана на увеличение содержания углекислого газа. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. Т.39, №2, с. 193-210.
6. Горшков В. Г. (1990) Энергетика биосферы и устойчивость окружающей среды // Итоги науки и техники. Теор. и общ. вопр. географии. т.7. М.: ВИНТИ, 238 с.

7. Григорьев Ал.А., Кондратьев К.Я. (2001) Экологические катастрофы // СПб НЦ РАН, 691 с.
8. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. (2003) Колебания и изменения климата на территории России // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. Т.39, №2, с. 166-185.
9. Кондратьев К. Я. (1990) Ключевые проблемы глобальной экологии // Итоги науки и техники. Теор. и общ. вопр. географии. Т.9. М.: ВИНТИ, 454 с.
10. Кондратьев К. Я. (1992) Глобальный климат СПб: Наука, 359 с.
11. Кондратьев К. Я. (1999) Экодинамика и geopolитика. Т.1. Глобальные проблемы. СПб: СПб НИЦ, 1040 с.
12. Кондратьев К. Я. (2000) Глобальные изменения на рубеже тысячелетий // Вестник РАН. Т.70.№9. с. 788-796.
13. Кондратьев К. Я., Демирчян К.С. (2001) Глобальные изменения климата и круговорот углерода // Изв. РГО. Т.132. вып.4 с. 1-20.
14. Кондратьев К. Я., Демирчан К. С. (2001) Глобальный климат и Протокол Киото // Вестн. РАН. Т. 71. №11.
15. Кондратьев К. Я. (2002а) Глобальные изменения климата: факты, предположения и перспективы разработок // Оптика атмосф. и океана. Т.15, №10, с. 1-16.
16. Кондратьев К. Я. (2002б) Аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. 1. Химический состав и оптические свойства // Оптика атмосф. и океана. т. 15, №2, с. 123-146.
17. Кондратьев К. Я. (2002в) Аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. 2. Прямое и косвенное воздействие на климат. // Оптика атмосф. и океана. т.15, №14. с. 301-320.
18. Кондратьев К. Я. (2003) Радиационное возмущающее воздействие, обусловленное аэрозолем. // Оптика атмосф. и океана. т. 16, №1, с. 5-18.
19. Кондратьев К. Я., Крапивин В.Ф. (2003) Глобальные изменения : реальные и возможные в будущем // Исслед. Земли из космоса. №4, с. 1-10.
20. Кондратьев К. Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. (2003а) Перспективы развития цивилизации. Многомерный анализ // М.: Логос. 575 с.
21. Кондратьев К. Я., Лосев К.С., Ананичева М.Д. ,Чеснокова И.В. (2003б) Естественно научные основы устойчивости жизни // М.:ВИНТИ. 240 с.
22. Кондратьев К. Я. (2004а) Изменения глобального климата: нерешенные проблемы. // Метеорол. и гидрол. (в печати).
23. Кондратьев К. Я. (2004б) Атмосферный аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. 1. Свойства аэрозоля различных типов. //Оптика атмос. и океана. т.16 (в печати).
24. Кондратьев К. Я. (2004в) Атмосферный аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. 2. Дистанционное зондирование глобальной пространственно-временной изменчивости аэрозоля и его воздействия на климат. // Оптика атмос. и океана. т.16 (в печати).
25. Крапивин В.Ф., Кондратьев К.Я. (2002) Глобальные изменения: экоинформатика //СПб НЦ РАН721с.
26. Логинов В.Ф.,Микутский В.С. (2000) Оценка антропогенного «сигнала» в климате городов // Изв. Русского геогр. О-ва. Т.132. вып.1. с.23-31.
27. Маккитрик Р. (2002) Тренды в данных о температуре воздуха, полученные с учетом внутренне обусловленной корреляции // Изв. Русского геогр. О-ва. Т.134, вып 3. с. 16-24.
28. Мохов И.И., Семенов В. А., Хон В.Ч.(2003) Оценки возможных региональных изменений гидрологического режима в XXI веке на основе глобальных климатических моделей //Изв. РАН. Физика атмосф. и океана. Т.39, вып. 2, с.150-165.
29. Пененко В.В., Цветова Е.А. (2003) Главные факторы климатической системы глобального и регионального масштабов и их применение в экологических исследованиях. // Оптика атмосферы и океана. Т.16, №5-6, с.407-414.
30. Яншин А.Н., Будыко М.И., Израэль Ю.А. (2001) Глобальное потепление и его последствия: стратегия принимаемых мер. // Сб. «Глобальные проблемы биосферы» т.1. под ред.Ф.Т. Яшиной. М.: Наука. С.10-24.
31. Adequacy of Climate Observing Systems. 1999. // Washington, D.C.: Nat. Acad. Press, 51 pp.
32. Allen M., Raper S., Mitchell J. (2001) Uncertainty in the IPCC's Third Assessment Report // Science. v.293. N5529. p. 430, 433.
- 32a. Alverson K.D., Bradley R.S., Pedersen T.F.(Eds.) (2003) Paleoclimate, Global Change and the Future. // Springer. Heidelberg e.a., XIII+221 pp.
33. Alley R.B., Marotzke J., Nordhaus W.D., Overpeck J.T., Peteet D.M., Pielke R.A. Jr., Pierrehumbert R.T., Rhines P.B., Stocker T.F., Talley L.D., Wallace J.M. (2002) Abrupt climate change. // Science. v. 299, N 5615. p. 2005-2010.
- 33a. Anderson T.L., Charlson R.J., Schwartz S.E., Knutti R., Boncher O., Rodhe H., Heintzenberg J. (2003) Climate forcing by aerosols — a hazy picture. // Science. v.300, № 5622, p. 1103-1104.
34. Angell J.K. (2000) Difference in radiosonde temperature trends for the period 1979-1998 of MSU data and the period 1959-1998 twice as long // Geophys. Res. Lett. V.27, № 15, p. 2177-2180.

35. Angell J.K. (2003) Effect of exclusion of anomalous tropical stations on temperature trends from a 63-station radiosond network and comparison with other analyses. // *J. Climate*. V. 16, № 13. p. 2288-2295.
36. van Asselt M.B.A., Rotmans J. (2002) Uncertainty in integrated assessment modeling. // *Clim. Change*. V. 54. p. 75-105.
37. Babiker M.N., Jakoby H.D., Reilly J.M., Reiner D.M. (2002) The evolution of a climate regime: Kyoto to Marrakech and beyond // *Env. Sci. and Policy*. V.5. № 3, pp. 195-206.
38. Backer E. (2003) Frictional heating in global climate models. // *Mon. Weather Rew.* V.131, № 3, p.508-520.
39. Barnett T.P., Pierce D.W., Schnur R. (2001) Detection of anthropogenic climate change in the world oceans. // *Science*. v.292, N 5515. p. 270-274.
- 39a. Benestad R.E. (2002) Solar Activity and Earth's Climate. // Springer-Verlag, Heidelberg e.a. 288pp.
40. Bengtsson L. (1999) Climate modeling and prediction — achievements and challenges // *WCRP/WMO Publ.* № 954. p. 27-36.
41. Bengtsson L.O., Hummer C.U. (2002) Geosphere-Biosphere Interactions and Climate. // *Edward Elgar Publ. Co.* Ltd.Cheltenham., U.K., 318 pp.
42. Beniston M. (2003) Climatic change in mountain regions: A review of possible impacts. // *Clim. Change*. V.59, № 1-2, p. 5-31.
43. Berger A., Loutre M.F., Crucifix M. (2003) The Earth's climate in the next hundred thousand years (100 KYR). // *Surv. Geophys.* V.24, N2, p.117-138.
44. Beven K. (2002) Towards a coherent philosophy for modelling the environment. // *Proc. Roy. Soc. London. A.* v. 458, № 2026, p. 2465-2484.
45. Bibby T.S., Mary I., Nield J., Partensky F., Barber J. (2003) Low-light-adapted Prochlorococcus species possess specific antennal for each photosystem. // *Nature*. V. 424, p. 1051-1054.
46. Bigg G.R., Jickells T.D., Liss P.S., Osborn T.J. (2003) The role of the oceans in climate. // *Int. J. Climatol.* V.23, № '10, p.1127-1160.
47. Boehmer-Cristiansen S.A. (1999) Climate change and the World Bank: Opportunity for global governance // *Energy and Environ.* V.10, № 1. p.27-50.
48. Boehmer-Cristiansen S. (2002) Keywords investing against climate change: Why failure remains possible // *Environmental Politics*. V.11, № 3, pp.1-30.
49. Boehmer-Cristiansen S., Kellow A. (2002) International Environmental Policy: Interests and the Failure of the Kyoto Process. // *Edward Elgar Publ. Co. Ltd.Cheltenham, Glos.* 214pp.
50. Bolin B. (1998) The WCRP and IPCC: Research inputs to IPCC Assessments and needs // *WCRP/WMO. N904*, p.27-36.
51. Bolin B. (2002) Politics and the IPCC. // *Science*. v.296, p. 1235.
52. Bonan G. (2002) Ecological Climatology: Concepts and Applications. // *Cambridge University Press, New York*, 678 pp.
53. Botta A., Ramankutty N., Foley J.A. (2002) Long-term variations of climate and carbon fluxes over the Amazon basin/ // *Geophys. Res. Lett.* V.29, № 9. p. 33/133/4.
54. Broecker W.S. (2003) Does the trigger for abrupt climate change reside in the ocean or in the atmosphere? // *Science*. V. 300, № 5625, p. 1519-1522.
55. Bryden H.L., Mc Donagh E.L., King B.A. (2003) Changes in ocean water mass properties: Oscillations or trends? // *Science*. V. 300, N 5628,p. 2086-2088.
56. Burroughs W.J. (2001) Climate Change: A Multidisciplinary Approach. // *Cambridge University Press, New York*. 298pp.
57. Burroughs W. (ed.) (2002) Climate: Into the 21st Century. // *Edward Elgar Publ. Co. Ltd.Cheltenham*, v.12, 256pp.
58. Cai. W., Whetton P.H. (2000) Evidence for a time-varying pattern of greenhouse warming in the Pacific Ocean. // *Geophys. Res. Lett.* V.27, N16. p. 2577-2580.
59. Calvin W.H. (2002) A Brain for All Seasons: Human Evolution and Abrupt Climate Change. // *University of Chicago Press*. 341 pp.
60. Charlson R.J., Seinfeld S.H., Nenes A., Kulmala M., Laaksonen A., Facchini M.C. (2001) Reshaping the theory of cloud formation // *Science* . v. 292. p. 2025-2026.
61. Chase T.N., Pielke R.A., Knuff J.A. et al. (2000) A comparison of regional trends in 1979-1997 depth-averaged tropospheric temperatures // *Int. J. Climatol.* V.20, № 5, p. 503-518.
62. Chou M.-D., Chan P.K., Wang M. (2002) Aerosol radiative forcing derived from Sea-WIFS-retrieved aerosol optical properties. // *J. Atmos. Sci.* v. 59. № 3. p. 748-757.
63. Christy J.R., Spencer R.W., Lobl E.S. (1998) Analysis of the merging procedure for the MSU daily temperature time series // *J. Climate* v.11, p. 2016-2041.
64. Christy J.R., Spencer R.W., Norris W.B., Braswell W.d., and Parker D.E. (2003) Error estimates of Version 5.O. of

- MSU-AMSU bulk atmospheric temperatures. //J. Atmos. Oceanic Technol. V.20. p.613-629.
- 64a. Christy J.R., Spencer R.M. (2003) Reliability of satellite data sets// Sciecne. V. 301, № 5636, p. 1046-1047.
65. Clarke G., LeCO2verington D., Teller J., Dyke A. (2003) Superlakes, megafloods, and abrupt climate change. // Science. V.301. p.922-023.
66. Climate Change Science. An Analysis of Some Key Questions. (2001) // Washington, D.C. National Academy Press.24pp.
67. Climate Change Research: Issues for the Atmospheric and Related Sciences (Approved by AMS Council, 9 February 2003). Executive Statement. //Bull. Amer. Meteorol. Soc. V.34, № 4, p.508-515.
68. Collins M., Senior C.A. (2002) Projections of future climate change // Weather. V.57. № 8, p.283-287.
69. Declaration of the Earth Observation Summit. //Washington, D.C. 2003. July 31, 1p.
70. Diaz H.F., Grosjean M., Graumlich L. (2003) Climate variability and change in high elevation regions: Past, Present and Future. //Clim. Change. V.59, № 1-2, p.1-4.
71. DolmanA.S., Schulze E.-D., Valentini R. (2003) Analyzing carbon flux measurements. // Science. V.301, p. 916.
72. Earth Observation Summit Ad hoc Group on Earth Observations (GEO). Terms of Reference. //Washington D.C. 2003. August, 4pp.
- 72a. Dore J.E., Lukas R., Sadler D.W., Karl D.M. (2003) Climate driven changes to the atmospheric CO<sub>2</sub> sink in the subtropical North Pacific Ocean // Nature. V.274, p. 754-757.
73. Elsaesser H.W. (2001) The current status of global warming / The paper prepared at the request of the Marshall Institute, Washington, D.C., May , 5 pp.
74. Essex C., Mc Kitrick R. (2002) Taken by Storm. The Troubled Science, Policy and Politics of Global Warming. // Key Porter Books. Toronto. 320 pp.
75. Faure M., Gupfa J., Nentjes A. (2003) Climate Change and the Kyoto Protcol. The Role of Institutions and Instruments to Control Global Change. // Edward Elgar Publ. 384 pp.
76. Fye F.K., Stahle D.W., Cook E.R. (2003) Paleoclimatic analogs to twentieth century moisture regimes across the United States. // Bull. Amer. Meteorol. Soc. V.84, № 7, p. 901-909.
77. Gillett N.P., Allen M.R., Williams K.D. Modelling the atmospheric response to doubled CO<sub>2</sub> and depleted stratospheric ozone using a stratosphere-resolving coupled GCM //Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. V.129, Part C., № 589, p. 947-966.
78. Glantz M.H.(2003) Global Issues: Climate and Atmosphere. //Island Press. Boulder, CO. 184 pp.
79. Glantz M.H.(2003) Climate Affairs. A Primer. // Island Press. Boulder, CO. 184 pp.
80. Godal O. (2003) The IPCC's assessment of multidisciplinary isues: The case of greenhouse gas indices. An Editorial Essay. //Climatic Change. V. 58, № 3, p. 243-249.
- 80a. Gong S.L., Barrie L.A., Blanchet J.-P., von Salzen K., Lohmann U., Lesing G., Spacek L., Zhang L.M., Girard E., Lin H., Leatich R., Leighton H., Chylek P., Huang P. (2003) Canadian Aerosol Module: A size segregated simulation of atmospheric aerosol processes for climate and air quality models. 1. Module development // J. Geophys. Res. V. 108, № D1, p. 3/1-3/16.
81. Goody R., Anderson J., North G. (1998) Testing climate models:An approach. // Bull. Amer. Meteorol. Soc. V.79, p. 2541-2549.
82. Goody R. (2001) Climate benchmarks: Data to test climate models // Исслед. Земли из космоса. № 6. с. 87-93.
83. Goody R., Anderson J., Karl T., Miller R.B., North G., Simpson J., Stephens G., Washington W. (2002) Why monitor the climate? // Bull. Amer. Meteorol. Soc. V.83, № 6, p. 873-878.
84. Goody R. (2002) Observing and thinking about the atmosphere. //Annu. Rev. Energy Environ. V.27, p. 1-20.
85. Gorshkov V.G., Gorshkov V.V.,Makarieva A.M. (2000) Biotic Regulation of the Environment. Key Issues of Global Change. // Springer/PRAXIS. Chichester, U.K., 367 pp.
86. Griffin J.M. (Ed.) (2003) Global Climate Change. The Science, Economics and Politics. //Edward Elgar Publ. 288pp.
87. Griggs D.J., Noguer M. (2002) Climate Change 2001: The Scientific Basic. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. // Weather. V. 57. № 8. p. 267-269.
88. Gupta J. (2001) Our Simmering Planet: What to Do About Global Warming? //Zed Books, London, 178 pp.
89. Hackl F., Pruckner G.J. (2003) How global is the solution to global warming? //Economic Modelling. V.20, N 1, pp.93-117.
90. Haigh J.D. (2001) Climate variability and the influence of the Sun. //Science. V.294, № 5549, p. 2109-2111.
91. Haigh J.D. (2002) Radiative forcing of climate change. // Weather. V. 57. № 8. p. 278-283.
92. Haigh J. (1993) Joana Haigh (Imperial College) replies. // Weather. V. 58. № 8. p.312-313.
- 92a. Hameranta T. (2003) Climatesceptics Annual Report 2002. // (<http://personal.inet.fi/koti/hameranta/overview.htm>) 12 pp.
93. Hanna E. (2001) Anomalous peak in Antarctic sea-ice area, winter 1998, coincident with ENSO // Geophys. Res. Lett. V. 28, p. 1595-1598.

- 93a. Hanna E., Cappelen J. (2002) Recent climate of southern Greenland. // Weather. V. 57. N9. p. 320-328.
94. Hansen J., Ruedy R., Sato M., Imhoff M., Lawrence W., Easterling D., Peterson t., Karl T. (2001) A closer look at United States and global surface temperature change. // J. Geophys. Res. V. 106, N D20, pp. 23947-23964.
95. Hansen J.E. (2002) A brighter future. //Clim. Change, v.52, N4, pp.435-440.
96. Hansen J., Sato M., Nazarenko L., Ruedy R., Laws A., Koch D., Tegen I., Hall T., Shindell D., Santer B., Stone P., Novakov T., Thomason L., Wang R., Wang Y., Jacob D., Hollandsworth S., Bishop L., Logan J., Thompson A., Stolarski R., Lean J., Willson R., Livitus S., Antonov J., Rayner R., Parker D., Christy J. (2002) Climate forcings in Goddard Institute for space studiesSI 2000 simulations. // J. Geophys. Res. V.107, N D18, p. ACL 2-1-2-37.
97. Hassol S.J., Udall R. (2003) A change of climate. //Issues Sci. and Technol. V.19, N3, p.39-46.
98. Hester R.E., Harrison R.M. (eds.) (2002) Global Environmental Change. //Springer, Heidelberg e.a. 192 pp.
99. Holloway G., Sou T. (2002) Has Arctic Sea ice rapidly thinned? J. Climate V.15, N 13, pp. 1691-1701.
100. Hoskins B.J. (2003) Climate change at cruising altitude? //Science. V.301. p. 469-470.
101. Hubbard K.G., Lin X. (2002) Realtime data filtering models for air temperature measurements. // Geophys. Res. Lett. V.29, №10, p. 67/1-67/4.
102. Hughes T.P., Baird A.H., Bellwood D.R., Card M., Connolly S.R., Folke C., Grosberg R., Hoegh-Gulberg O., Jaskson J.B.C., Kleypas J., Lough J.M., Marshall P., Mystrom M., Palumbi S.R., Pandolfi J.M., Rosen B., Roughgarden J. (2003) Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. // Science. V. 301, p. 529-533.
- 102a. Hurrell J.W., Kushnir Y., Visbeck M., Ottersen G. (eds.) (2003) The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact // AGU Geophysical Monograph Series N 134, 279 pp.
103. IPCC Special Report “Land-use Change, and Forestry” // Ed. Watson et. al. (2000) Cambridge Univ. Press, 377p.
104. IPCC Third Assessment Report. (2001) V.1. Climate Change 2001. The Scientific Basis. // Cambridge Univ. Press, 881p.
105. Itoh H. (2002) True versus apparent arctic oscillation. // Geophys. Res. Lett. V.19, № 8, p.109/1-109/4.
106. Janssens I.A., Freibauer A., Ciais P., Smith P., Nabuurs G.-J., Folberth G., Shlamadinger B., Hutz R.W.A., Ceulemans R., Schulze E.-D., Valentini R., Dolman A.J.(2003) Europe’s terrestrial biosphere absorbs 7 to 12 % of European anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions. // Science. V.300, № 5625, p. 1538-1542.
107. Johansen B.E. (2002) The Global Warming Desk Reference. //Greenwood Press, Westport, CT. 353 pp.
108. Jones P.D., Ogilvie A.E.J., Davies T.D., Briffa K.R. (eds.) (2001) History and climate: Memories of the future? //Kluwer Acad./Plenum Publ. 295 pp.
109. Jones G.S., Tett S.F.B., Stott P.A.(2003) Causes of atmospheric temperature change 1960-2000: A combined attribution analysis. //Geophys. Res. Lett. V.30, № 5, p. 1228-1231.
110. Katz R.W. (2002) Techniques for estimating uncertainty in climate change scenarios and impact studies // Climate Research. V.20, pp. 167-185.
111. Kininmonth W. (2003) Climate change: A natural hazard. //Energy and Environment. V. 14, № 2/3, p. 215-232.
- 111a. Kirschbaum M.U.F. (2003) Can trees buy time? An assessment of the role of vegetation sinks as part of the global carbon cycle // Clim. Change. V. 58, p. 47-71.
112. Kondratyev K.Ya., Galindo I. (1997) Volcanic Activity and Climate. // A. Deepak Publ. Hampton, VA. 382p.
113. Kondratyev K.Ya. (1998) Multidimensional Global Change. // Wiley/PRAXIS. Chichester, U.K., 761 pp.
114. Kondratyev K.Ya., Cracknell A.P. (1999) Observing Global Climate Change // London: Taylor & Francis, 562 pp.
115. Kondratyev K.Ya. (1999) Climatic Effects of Aerosols and Clouds. // Springer/PRAXIS. Chichester, U.K., 264 pp.
116. Kondratyev K.Ya., Varotsos C.A. (2000) Atmospheric Ozone Variability: Implications for Climate Change, Human Health, and Ecosystems. // Springer/PRAXIS. Chichester, U.K., 614 pp.
117. Kondratyev K.Ya. (2001) Key issues of global change at the end of the second millennium //Our Fragile World: Challenges and Opportunities for Sustainable Development. EOLSS Vorrumer v. 1, p. 147-165.
- 117a. Kondratyev K.Ya. (2002) Global climate change and the Kyoto Protocol // Idojaras. V. 106, № 2, p. 1-37.
118. Kondratyev K.Ya., Grigoryev Al.A. (2002) Environmental Disasters:Natural and Anthropogenic. // Springer/PRAXIS. Chichester, U.K., 484 pp.
119. Kondratyev K.Ya., Krapivin V.F., Phillips G.W. (2002) Global Environmental Change: Modelling and Monitoring. //Springer, Heidelberg e. a., 316 pp.
120. Kondratyev K.Ya. (2003a) High-latitude environmental dynamics in the context of global change. //Idoojaras. V.107, N1, p. 1-29.
121. Kondratyev K.Ya., Krapivin V.F., Varotsos C.A. (2003) Global Carbon Cycle and Climate Change. // Springer/PRAXIS. Chichester, U.K., 278 pp.

122. Kondratyev K.Ya., Losev K.S., Anaicheva M.D., Chesnokova I.V. (2003) Stability of Life on Earth. Springer/PRAXIS. Chichester, U.K., 152 pp.
123. Korner C. (2003a) Slow in, rapid out — carbon flux studies and Kyoto targets. // Science. V.300, N5623, p. 1242-1243.
124. Korner C. (2003b) Response. // Science. V.301, p. 916-917.
125. Kukla G. and Went E. (Eds.) (1992) Start of Glacial. // NATO ASI Ser. I, V.3, 353 pp.
- 125a. Kunkel K.E. (2003) Sea surface temperature forcing of the upward trend in U.S. extreme precipitation// J. Geophys. Res. V. 108, N D1, p. 6/1-6/10.
126. van Lerland E.C., Gupta J., Koh M. (eds.) (2003) Issues in International Climate Policy. Theory and Policy. // Edward Elgar Publ. Co. Ltd., Cheltenham, U.K., 320 pp.
127. Leroux M. (1998) Dynamic Analysis of Weather and Climate Springer/PRAXIS, Chichester, U.K. 356 pp.
- 127a. Leroux M. (2003) "Global Warming": Myth or reality? // Energy and Environment (in print)
128. Levitus S., Antonov J.I., Wang J. et. al. (2001) Anthropogenic Warming of Earth's climate system. //Science. V.292. № 5515, p. 267-270.
129. Liao H., Adams P.J., Chung S.H., Seinfeld J.H., Mickley L.J., Jacob D.J. (2003) Interactions between tropospheric chemistry and aerosols in a unified general circulation model. //J. Geophys. Res. inferred. V. 108, N D1, p. 1/1-1/23.
- 129a. Liepert B., Tegen I. (2002) Multidecadal solar radiation trends in the United States and Germany and direct tropospheric aerosol forcing// J. Geophys. Res. V. 107, № D12, p. AAC7/1-AAC7/15.
1296. Lindzen R.S., Chou M.-D., Hou A.Y. (2002) Comment on "No evidence for Iris"// Bull. Amer. Meteorol. Soc. V. 83, N 9, p. 1345-1352.
130. Majorovicz J., Safanda J., Skinner W. (2002) East to west retardation in the onset of the recent warming across Canada if erred from inversions of temperature logs. // J. Geophys. Res. V. 107, N B10, p. ETG G 11 — ETG6/12.
131. Malmgren B.A., Hulugalla R., Hayashi X., Mukami T. (2003) Precipitation trends in Sri Lanka since the 1870s and relationships to El Nino-Southern Oscillation. // Int. J. Climatol. V. 23, N 10, p. 1235-1252.
132. Mann M.E., Jones P.D. (2003) Global surface temperatures over the past two millennia. // Geophys. Res. Lett., v. 30, N 15, 1820, 10.1029/2003 GLO17814, August 14, 2003.
133. Markandy A., Halsnaes K. (Eds.) (2002) Climate Change and Sustainable Development, Prospects for Developing Countries. //Earthscan Publ. Ltd., London , 291 pp.
134. Mc Guire A.D., Sturm M., Chapin F.S.III. (2003) Arctic Transition in the Land-Atmosphere System (ATLAS): Bachground, objectives, results, and future directions. // J. Geophys. Res. V. 108, N D2. P. ALT7/1-ALT7/10.
135. Mohr T., Bridge J. (2003) The evolution of the integrated global Earth observing system // Исслед. Земли из космоса. N 1 ,c. 64-73.
136. Morgan M.R. (2003) Climate Change 2001. //Weather. V. 58, N8. p. 311-312.
137. Nemani R.R., Keeling C.D., Hashimoto H., Jolly W.M., Piper S.C., Tucker C.J., Myneni R.B., Running S.W. (2003) Climate-driven increases in global terrestrial primary production from 1982 to 1999. //Science. V. 300, N5625, p. 1560-1563.
138. New Priorities for the 21st Century. NOAA's Strategic Plan for FY 2003— FY 2008 and Beyond. // U.S. Department of Commerce, NOAA, Washington D.C., 2003, March 31, 16 pp.
139. O'Naill B.C. (2003) Economics, natural science, and the costs of global warming potential. An Editorial Comment. // Climatic Change. V.58, N3. p. 251-260
140. Oreopoulos L., Marshak A., Cahalan R.F. (2003) Consistency of ARESE II cloud absorption estimates and sampling issues. // J. Geophys. Res. V. 108, N D1. P.13/1-13/16.
141. Parson E.A., Corell R.W., Barron E.J., Burkett V., Janetos A., Joyce L., Karl T.R., Mc Cracken M.C., Melillo J., Morgan M.G., Schimel D.S., Wilbanks T. (2003) Understanding climatic impacts, vulnerabilities, and adaptation in the United States: Building a capacity for assessment. // Clim. Change. V. 57, № 1-2, p. 9-42.
- 141a. Pavolonis M.J., Key J.R. (2003) Antarctic cloud radiative forcing at the surface estimated from the AVHRR Polar Pathfinder and ISCCPD1 data sets, 1985-93 // J. Appl. Meteorol. V. 42, p. 827-840.
142. Penland C. (2003) Noise out of chaos and why it won't go away. //Bull. Amer. Meteorol. Soc. V.84, N7, p. 921-925.
143. Pielke R., Jr., Sarewitz D. (2003) Wanted: Scientific leadership in climate. // Issues in Science and Technol-ogy. Winter 2002-03-2003, p. 27-30.
144. Pielke R.A, Sr. (2003) Heat storage within the earth system. // Bull. Amer. Meteorol. Soc. V.84, N3, p. 331-335.
145. Pitman A.J. (2003) The evolution of, and revolution in, land surface schemes designed for climate models. //Int. J. Climatol. V.23, N5 p. 479-510.
146. Podgorny I.A., Ramanathan V. (2001) A modeling study of the direct effect of aerosols over the tropical Indian Ocean. // J. Geophys. Res. V. 106, N 20. p. 24097-24105.
147. Prinn R., Jacoby H., Sokolov A. et. al. (1999) Integrated Global System model for climate policy assessment:

- Feedbacks and sensitivity studies // *Clim. Change*. V. 41. N 3-4, p. 469-546.
148. Przybylak R. (2003) The Climate of the Arctic. // Kluwer Academic. 288 pp.
149. Quinn P., Bakes T. (2003) Comparison of regional aerosol chemical and optical properties from the European, Asian, and North American plumes. // *IGACtivities Newsletter*. N28, p. 24-30.
150. Randel W.J., Wu F., Rios W.R. (2003) Thermal variability of the tropical tropopause region derived from GPS/MET observations. // *J. Geophys. Res. Lett.*, v. 108, N D1. p. 7/1-7/12.
151. Reconciling Observations of Global Temperature Change // Washington D.C., Nat. Acad. Press., 2000, 85 pp.
152. Reilly J., Stone P.H., Forest C.E., Webster N.D., Jacoby H.D., Prinn R.G. (2001) Uncertainty and climate change assessments // *Science*. V. 2983, N5529. p. 430-433.
153. Risbey J.S., Kandlikar M. (2002) Expert assessment of uncertainties in detection and attribution of climate change. // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* V.83, N9, p. 1317-1326.
- 153a. Robinson W.A., Reudy R., Hansen J.E. (2003) General circulation model simulations of recent cooling in the east-central United States // *J. Geophys. Res.* V. 108, 4748, doi: 10.1029/2001JD001577.
154. Rossow W.B. (2003) Workshop on climate system feedbacks. // *GEWEX News*. V.13, № 1, p. 12-14.
155. Rothschild L., Lister A. (Eds.) (2003) Evolution on Planet Earth. // Elsevier, Amsterdam. 456 pp.
156. Rubbelke D.T.G. (2002) International Climate Policy to Combat Global Warming. // Edward Elgar Publ., Cheltenham, Glos., U.K. 200pp.
157. Santer B.D., Sausen R., Wigley T.M.L., Boyle J.S., Achuta Rao K., Doutriaux C., Hansen J.E., Meehl G.A., Roeckner E., Ruedy R., Schmidt G., Taylor K.E. (2002) Behavior of tropopause height and atmospheric temperature in models, reanalysis, and observations: Decadal changes. // *J. Geophys. Res.* V. 108, N D1. p. 1/1-1/22.
158. Santer B.D., Wigley T.M.L., Meehl g.A., Wehner M.F., Mearns C., Schabel M., Wentz F.J., Ammann C., Arblaster J., Bettge T., Washington W.M., Taylor K.E., Boyle J.S., Bruggemann W., Doutriaux C. (2003) Influence of satel-lite data uncertainties on the detection of externally forced climate change. // *Science*. V.300, N 5623, p. 1280-1284.
159. Santer B.D., Wehner M.F., Wigley T.M.L., Sausen R., Meehl G.A., Taylor K.E., Ammann C., Arblaster I., Washington W.M., Boyle J.S., Bruggemann W. (2003) Contributions of anthropogenic and natural forcing to recent tropo-pause height changes. // *Science*. V.301, N 5632, p. 479-483.
160. Sato M., Hansen J., Koch D., Lacis A., Ruedy R., Dubovik O., Holben B., Chin M., Novakov T. (2003) Global atmospheric black carbon inferred from AERONET, PNAS. // *J. Geophys. Res.* V. 30, N 6. p.
161. Schlesinger M.E., Andronova N. (2000) Temperature changes during the 19th and 20th Centuries // *Geophys. Res.* V. 27, p. 2137-2140.
162. Schlesinger M.E., Ramankutty N., Andronova N. (2000) Temperature oscillations in the North Antarctic. // *Science*. V. 289, p.547.
163. Schneider S.H., Rosencrantz A., Niles J.O., (Eds.) (2002) Climate Change Policy: A Survey //Island Press. Boulder, CO. 561pp.
164. Science and Technology for Sustainable Development. A G8 Action Plan. June 2, 2003.
165. Shao Y. (2002) Chaos of a simple coupled system generated by interaction and external forcing. // *Meteorol. Atmos. Phys.* V. 81, № 3-4, p. 191-205.
166. Singer S.F. (1997) Hot Talk, Cold Science. // Oakland, Calif.: Independent Institute, X+110pp.
167. Singer S.F. (1998) Unfinished business — The scientific case against the Global Climate Treaty // *Energy and Environment* . v.9, № 6, p. 617-632.
168. Singer S.F. (1999) Human contribution to climate change remains questionable // *EOS*. V.80, N16, p.183, 186, 187.
169. Singer S.F. (1999) Reply. // *Eos. Trans.* V. 80, N33, p. 172.
170. Singer S.F. (2003) Science editor bias on climate change // *Science*.v. 301, p. 595.
171. Soon W., Baliunas S., Idso C., Idso S., Legates D.R. (2003) Reconstructing climatic and environmental changes of the past 1000 years: A reappraisal. // *Energy and Environment* . v.14, № 2-3, p. 233-296.
- 171a. Soon W., Baliunas S. (2003) Global warming // *Progress in Physical Geography*. V. 27, № 3, p. 448-455.
172. Soros M.S. (2000) Preserving the atmosphere as a global commons. *Environ. Change and Security Project Report*. // The Woodrow Wilson Center. Washington, D.C. Iss. № 6. p. 149-155.
173. Sowers T., Alley R.B., Jubenville J. (2003) Ice core records of atmospheric N2O covering the last 106,000 years. // *Science*. V.301, p. 945-948.
174. Stafford J.M., Wendler G., Curtis J. (2000) Temperature and precipitation of Alaska: 50 year trend analysis. // *Theor. And Appl. Clim.* V.67, p. 33-44.
175. Stendel M.J., Cristy J.R., and Bengtsson L. (2000) Assessing levels of uncertainty in recent temperature time series. // *Climate Dyn.* V.16, p. 587-601.
176. Stone D.A., Weaver A.J. (2002) Daily maximum and minimum temperature trends in a climate model. // *Geophys. Res. Lett.* V. 29, N 9, p. 70/1-70/4.

177. Stone R.S., Dutton E.G., Harris S.M., Longenecker D. (2002) Earlier spring snowmelt in northern Alaska as an indicator of climate change. // *J. Geophys. Res.* V. 107, N D10. p. ACL10/1-ACL10/15.
178. von Storch H., Zwiers F.W. (1999) Statistical Analysis in Climate Research // Cambridge Univ. Press, X+484p.
- 178a. Strategic Plan for the Climate Change Science Program. Washington D.C., 2003.
179. Sun B., Bradley R.S. (2002) Solar influences on cosmic rays and cloud formation. // *J. Geophys. Res.* V. 107, N D14, p. AAC5/1-AAC5/12.
- 179a. Sun S., Hansen J.E. (2003) Climate simulations for 1951-2050 with a coupled atmosphere — ocean model // *J. Climate.* V. 16, p. 2807-2826.
180. Tett S.F.B., Jones G.S., Stott P.A., Hill D.S., Mitchel J.F.B., Allen M.R., Ingram W.J., Johnes T.C., Johnson C.E., Jones A., Roberts D.L., Sexton D.M.H., Woodage M.S. (2002) Estimation of natural and anthropogenic contributions to twentieth century temperature change. // *J. Geophys. Res.* V. 107, N D16, p. ACL10/1-ACL10/24.
181. The U.S. Climate Change Science Program. Vision for the Program and Highlights of the Science Strategic Plan.// A Report by the Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Washington, D.C., July 2003, 34 pp.
182. Toth F.L. (2003) Climate policy in light of climate science: The ICCIPS Project. // *Clim. Change.* V. 56, N 1-2, p. 7-76.
183. Trenberth K.E., Otto-Bliesner B. L. (2003) Toward integrated reconstruction of climates. // *Science.* V.300, p. 589-591.
184. Unger S. (2003) Global warming versus ozone depletion: Failure and success in North America. // *Climate Research.* V.23, p. 263-274.
185. U.S. National Academy of Sciences Report: Climate Change Science: An Analysis of Some Key Issues. // Washington, D.C. 2001, 28 p.
186. Victor B.G., Raustiala K., Skolnikoff E.B. (Eds.) (1998) The Implementation and Effectiveness of International Environmental Commitments: Theory and Practice. // MIT Press, Cambridge, MA and London, 737 pp.
187. Victor D.G. (2001) The Collapse of the Kyoto Protocol and the Struggle to Slow Global Warming // Princeton Univ. Press, 178p.
188. Viguier L., Babiker M., Reilly J. (2003) The costs of the Kyoto Protocol in the European Union. // *Global Environmental Change* v.31, N5, p. 459 — 481.
- 188a. Vogelmann A.M., Flatan P.J., Szcodrak M., Markowicz K.M., Minnett P.J. (2003) Observations of large infrared forcing at the surface // *Geophys. Res. Lett.* V. 30, N 12, p. 1655. Doi: 10.1029/2002GL016829.
189. Wallace J.M., Thompson D.W.J. (2002) Annual models and climate prediction. // *Phys. Today.* V.55, N 2, p. 28-33.
190. Waple A.M., Lawrimore J.H. (Eds.) (2003) State of the Climate in 2002. // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* V.84, N6, p. S1-S68.
191. Wigley T.M.L. (1998) The Kyoto Protocol: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and climate implications. // *Geophys. Res. Lett.* V. 25, N 13, p.2285-2288.
192. Wigley T.M.L., Schimel D.S. (Eds.) (2000) The Carbon cycle. Edward Elgar Publ. Co. Ltd, Cheltenham, U.K., 480 pp.
193. Wigley T.M.L., Raper S.C.B. (2001) Interpretation of high projections for global—mean warming. // *Science.* V. 293, N 5529, p. 451-455.
194. Wilby R.L. (2003) Past and projected trends in London's urban heat island. // *Weather.* V. 58, № 7, p. 251-260.
195. Wijngard J.B., Tank A.M.G.K., Konnen G.P. (2003) Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. // *Int. J. Climatol.* V. 23, N 6, p. 679-692.
- 195a. Wong S., Wang W.-C. (2003) Tropical-extratropical connection in interannual variation of the tropopause: Comparison between NCEP/NCAR reanalysis and an atmospheric circulation model simulation // *J. Geophys. Res.* V. 108, N D2, 4043, doi: 10.1029/2001JD002016.
196. Woodcock A. (2000) Global warming: The debate heats up. // *Weather* v.55, № 4, p. 143-144.
197. Wright E.L., Erickson J.D. (2003) Incorporating catastrophes into integrated assessment: Science, impacts, and adaptation. // *Clim. Change.* V.57, № 3, p. 265-286.
- 197a. Yabe T., Holler R., Tohno S., Kasahara M. (2003) An aerosol climatology at Kyoto: Observed local radiative forcing and columnar optical properties // *J. Appl. Meteorol.* V. 42, p. 841-850.
198. Zhang H., Henderson-Sellers A., Mc Guffie K. (2001) The compounding effects of tropical deforestation and greenhouse warming of climate. // *Clim. Change.* V.49, p. 309-338.
199. Zhou L., Kaufmann R.K., Tian Y., Myneni R.B., Tucker C.J. (2003) Relation between interannual variations in satellite measures of northern forest greenness and climate between 1982 and 1999 // *J. Geophys. Res.* V. 108, N D1, p. 3/1-3/16.