

К.Я. Кондратьев

Глобальные изменения климата: факты, предположения и перспективы разработок

Центр экологической безопасности РАН/
Нансеновский фонд окружающей среды и дистанционного зондирования, г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 18.06.2002 г.

Сделан обзор результатов исследований глобального климата в контексте отчетов МГЭИК-2001 (Межправительственной группы экспертов по проблеме изменений глобального климата) и Национальной Академии наук США («Наука об изменениях климата»). Проиллюстрирована неполнота этих отчетов, состоящая в отсутствии обсуждения ряда ключевых аспектов проблематики (концепция биотической регуляции окружающей среды, инертивность процессов в климатической системе, неожиданные и сильные изменения палеоклимата, роль солнечной активности и др.). Высказаны соображения о приоритетах дальнейших исследований глобального климата и его изменений.

Введение

Результатом исключительного внимания к проблеме глобального потепления климата пока что не стало достижение согласия по поводу причин современных изменений климата и, особенно, – прогностических оценок климата с заблаговременностью порядка столетия (см., например, [1–93]).

Особого внимания требует в этой связи все еще сохраняющаяся неадекватность существующих систем наблюдений [8, 42, 57, 73]. Обсуждение этой проблемы уже давно вышло на уровень таких всемирных форумов, как Вторая конференция ООН по окружающей среде и развитию – КОСР (Рио-де-Жанейро, 1992 г.), а затем Специальная Сессия Генеральной Ассамблеи ООН «Рио+5» (Нью-Йорк, 1997 г.) и Всемирное совещание на высшем уровне по устойчивому развитию «Рио+10» – ВСУР (Йоханнесбург, 26 августа – 4 сентября 2002 г.) [8]. Достижута договоренность о проведении в 2003 г. в Москве Всемирной конференции по изменению климата. Сделанное президентом США ясное и правильное заявление о неприемлемости Протокола Киото (ПК) еще более обострило интерес к проблеме глобального потепления. Поскольку, однако, вопрос о Протоколе Киото был детально обсужден ранее [2, 7, 8], мы ограничимся далее рассмотрением проблемы лишь в контексте двух новых документов [28, 31], определяющих необходимость еще раз «расставить точки над *i*».

Серьезное недоумение вызывают некоторые суждения и оценки, содержащиеся в концептуальной записке, подготовленной Комиссией по устойчивому развитию для рассмотрения на ВСУР как основополагающего документа Совещания. Со ссылкой на принятую ООН «Декларацию тысячелетия» в записке содержится призыв предпринять все необходимые меры для обеспечения вступления в силу ПК, желательно к десятой годовщине КОСР, т.е. в 2002 г., включая

определяемые ПК требования к снижению уровней выбросов парниковых газов (ПГ) в атмосферу.

Высказанные ранее возражения, касающиеся ПК [2, 5, 7, 57], сводятся главным образом к следующим обстоятельствам.

1. Этот документ опирается на ложное представление о том, что современные изменения климата являются, в основном, антропогенными (иногда утверждается, что практически полностью антропогенными), тогда как бесспорная истина состоит в том, что до сих пор отсутствуют убедительные *количественные* оценки соотношения вкладов природно обусловленных и антропогенных факторов в формирование наблюдаемых изменений климата. Остаются спорными основанные на использовании результатов численного моделирования оценки внутренне обусловленных изменений климатической системы.

2. Оценки изменений климата в будущем требуют задания роста концентрации CO_2 в атмосфере (как наиболее существенного ПГ). Обычно произвольно задается постоянное повышение концентрации (до конца XXI в.), составляющее 1% в год. Между тем обоснованный прогноз динамики CO_2 может быть сделан лишь на основе пока еще не осуществленного интерактивного численного моделирования долгосрочных изменений глобального климата и круговорота углерода (сделаны лишь самые первые шаги в этом направлении). Приближенные оценки с учетом предполагаемого роста глобальной численности населения, полученные К.С. Демирчяном и др. [2], свидетельствуют о безусловной завышенности оценок, основанных на предположении об 1%-м повышении концентрации CO_2 . Несомненно не помогает делу (скорее, наоборот) введение понятия «суммарных выбросов» («net emissions»), учитывающих не только выбросы ПГ, но и косвенное воздействие на них динамики лесов и землепользования, ввиду невозможности сколько-нибудь надежных оценок «суммарных

выбросов» (а это означает, кроме того, и бесплодность рассуждений на тему о «торговле выбросами»).

3. Согласно приближенным оценкам Т. Уигли [91] полное осуществление рекомендаций Протокола Киото обеспечит лишь ничтожное снижение среднеглобальной среднегодовой приземной температуры воздуха (ПТВ). В этой связи часто используемый аргумент в пользу ПК, состоящий в его оправдании как «первого шага», не выдерживает критики, поскольку уже «первый шаг» (конкретные цели которого к тому же не ясны) является весьма дорогостоящим для экономики, а обоснование последующих шагов отсутствует. Серьезное противоречие содержится и в том факте, что документ [31] определяет экономический рост как главный фактор устойчивого развития. Наблюдаемым последствием экономического роста является повышение концентрации ПГ не только в таких развивающихся странах, как Китай и Индия, но и во многих промышленно развитых странах, включая США. Согласно данным Европейского агентства по окружающей среде (ЕЕА), выбросы CO₂ за период 1990–2000 гг. возросли по крайней мере на 14%.

Совершенный в Великобритании переход от использования каменного угля к природному газу обеспечил значительное снижение уровня выбросов CO₂ в атмосферу (в 2000 г. он был на 7% ниже уровня 1990 г.), но, с другой стороны, в 2000 г. имел место рост выбросов, составляющий 1,2%. Девять стран ЕС все еще далеки от достижения целей ПК. Так, например, выбросы CO₂ в Испании в 2000 г. превышали выбросы в 1990 г. на 33,7%. Свертывание промышленности в Восточной Германии обеспечило снижение выбросов в Германии на 19,1%. В целом совершенно очевидно, что страны ЕС не способны осуществить рекомендации ПК. Это отчетливо иллюстрирует нереалистичность рекомендаций, содержащихся в Протоколе Киото.

I. Наиболее важные вопросы, касающиеся изменений климата

В контексте обсуждаемой проблематики особый интерес представляет подготовленный Комитетом по науке об изменениях климата Национальной Академии наук США (председателем этого комитета является проф. Р. Цицероне из Калифорнийского университета) по поручению администрации президента США концептуальный документ «Наука об изменении климата» [28]. В этом документе даны ответы на поставленные его авторами вопросы, которые рассматриваются как наиболее важные. Авторы [28] начинают со следующего основополагающего утверждения:

«В результате хозяйственной деятельности человека в атмосфере накапливаются парниковые газы, обуславливающие повышение приземной температуры воздуха и подповерхностной температуры океана. Повышение температуры происходит и в действительности. Наблюдавшиеся за последние несколько десятилетий изменения связаны, по-видимому, главным образом с хозяйственной деятельностью челове-

ка, хотя нельзя исключить того, что определенная существенная часть этих изменений является также отображением природно обусловленной изменчивости». Хотя подобные осторожные формулировки вполне адекватны (главная проблема состоит, как уже упоминалось, в том, что до сих пор отсутствуют достаточно надежные оценки соотношения природных и антропогенных факторов изменений климата, наблюдавшихся за последние 100–150 лет), вызывает недоумение следующая за упомянутыми высказываниями фраза цитируемого документа [28]: «Ожидается, что антропогенное потепление и связанное с ним повышение уровня моря будут продолжаться в течение 21-го века», из которой следует, что, в действительности, авторы [28] опираются на ту же ложную концепцию «парникового потепления», что и документ ООН [31].

Значительно более осторожными являются оценки, сделанные в «Заявлении ВМО» [916], где особо подчеркнуто значение изменчивости климата, обусловленной явлением Эль-Ниньо/Южное колебание (важное значение имеет также тот факт, что в 2001 г. завершилось необычно длительное (начавшееся в середине 1998 г.) явление похолодания Ла-Нинья). В [916] отмечено, что, если начиная с 1900 г. скорость повышения среднеглобальной ПТВ составляла 0,6 °C за столетие, то после 1976 г. эта скорость возросла примерно в три раза. Среднеглобальная ПТВ в 2001 г. оказалась на 0,42 °C выше нормы (1961–1990 гг.). Особенно значительное потепление (0,67 °C) наблюдалось во внетропических широтах (>20° с.ш.) северного полушария, тогда как в ряде регионов имело место похолодание в период зимы северного полушария. ПТВ оказалась ниже средней на более чем 1 °C на большей части территории США, а на большей части территории России подобная аномалия похолодания превосходила 3 °C. Обратимся, однако, к обсуждению поставленных в [28] вопросов.

1. Каковы пределы природно обусловленной изменчивости климата?

Понятно, что ответа на вопрос о пределах природно обусловленной изменчивости среднеглобальных параметров климата (обычно рассматривается приземная температура воздуха) не существует ввиду отсутствия необходимых данных наблюдений. На основе анализа косвенных палеоклиматических данных можно, однако, сделать уверенный вывод о том, что изменения климата в прошлом (в масштабах времени от сезона до всего периода эволюции Земли) существенно (на порядок величины) превосходили наблюдавшиеся за последние 100–150 лет (согласно [29] повышение среднеглобальной среднегодовой ПТВ составило (0,6±0,2) °C). Важный вывод выполненных за последние годы палеоклиматических исследований (см., например, [75]) состоит в выявлении существования в прошлом не только больших, но и внезапных (быстрых) изменений климата за несколько десятков лет (или даже меньше). Как отме-

чено в [29], после завершения последнего периода оледенения произошло глобальное потепление, составившее около 2 °С за тысячу лет.

2. Происходит ли в настоящее время повышение концентрации ПГ и уровней других выбросов в атмосферу, которые влияют на климат, с возрастающей скоростью и насколько различаются соответствующие скорости повышения концентрации ПГ и других выбросов? Являются ли причины подобного повышения антропогенными?

Если в доиндустриальную эпоху концентрация такого наиболее существенного ПГ, как CO₂, изменялась примерно от 190 млн⁻¹ (по объему) в период оледенений до 280 млн⁻¹ в межледниковые периоды, то затем началось монотонное повышение концентрации CO₂, составлявшее около 1% в год до 1998 г., а позднее скорость роста концентрации замедлилась и в 1990-е гг. стала нерегулярной. В настоящее время концентрация CO₂ равна примерно 370 млн⁻¹ и увеличивается со скоростью около 1,5 млн⁻¹/год под воздействием антропогенных выбросов CO₂ в атмосферу, обусловленных главным образом сжиганием ископаемых топлив. К числу других ПГ, требующих учета, относятся метан (имеющий на две трети антропогенное происхождение), тропосферный озон, закись азота и хлорфторуглеродные соединения [5].

3. Каков вклад в формирование климата выбросов в атмосферу других ПГ (таких как окись углерода) и аэрозоля (сульфатного и сажевого)?

Наибольшей неопределенностью характеризуется в этой связи вклад аэрозоля, хотя предполагается, что, в целом, он обуславливает эффект похолодания климата. Если прямое радиационное возмущающее воздействие (РВВ) за счет сульфатного аэрозоля (РВВ определяется как возмущение радиационного баланса Земли) оценивается как варьирующее в пределах от -0,6 до -1,0 Вт/м², то в случае сажевого аэрозоля равно 0,1-0,2 Вт/м². Трудно поддающееся оценке косвенное воздействие аэрозоля на климат (через изменение микрофизических и радиационных свойств облаков) может достигать значений отрицательного РВВ порядка -1,0 Вт/м² и более. Не вызывает сомнений, что требуют учета и такие виды аэрозоля, как пылевой и органический.

4. Как много времени потребуют меры по ослаблению накопления ПГ в атмосфере и других выбросов и каковы соответствующие значения характерного времени?

Частичный ответ на этот вопрос содержат данные таблицы, характеризующие значения времени жизни ПГ и аэрозоля, а также РВВ (до 2000 г.).

Характерное время жизни ПГ и аэрозоля, а также РВВ

Компонент	Время жизни*	Радиационное возмущающее воздействие, Вт/м ²
Парниковые газы:		
углекислый газ	> 100 лет	1,3-1,5
метан	10 лет	0,5-0,7
тропосферный озон	10-100 сут	0,25-0,75
закись азота	100 лет	0,1-0,2
хлорфторуглеродные соединения (включая SF ₆)	< 1000 лет	0,01
Мелкодисперсный аэрозоль:		
сульфат	10 сут	-0,3÷-1,0
«черный» углерод	10 сут	0,1-0,8

* Время жизни, равное 100 годам, означает, что в течение такого срока будет удалена из атмосферы большая часть рассматриваемого компонента. Так, например, к концу 100-го года останется 37%, спустя 200 лет 14%, через 300 лет 5% и спустя 400 лет 2%.

5. Происходят ли изменения климата? Если происходят, то каким образом?

Разумеется, ответ на этот вопрос очевиден: изменения глобального климата происходили всегда и, конечно, останутся в будущем [4]. Как уже упоминалось, глобальное потепление, происходившее в XX в., составило (0,6±0,2) °С, но очень важно, что это потепление не было монотонным [4]. Большая часть потепления приходится на период до 1940 г. и на последние несколько десятилетий. В период 1946-1975 гг. в северном полушарии наблюдалось небольшое похолодание, которое оказалось весьма значительным в восточной части США (причины этой аномалии пока что не установлены). Слой 0-3 км Мирового океана прогрелся, начиная с 1950-х гг., лишь на 0,05 °С [28].

Согласно данным аэрологических наблюдений, свободная тропосфера прогревалась в 1970 гг. значительно интенсивнее, чем в последующие два десятилетия, тогда как тренд ПТВ характеризовался противоположной изменчивостью (причины подобного различия остаются неясными). Анализ данных спутникового СВЧ-дистанционного зондирования, начатых в 1979 г., привел к выводу о наличии в тропосфере лишь очень слабого потепления. Удивительной особенностью изменений климата стратосферы на высотах около 20-25 км, проявившейся за последние 35 лет, было выхолаживание, сконцентрированное главным образом в регионе зимней полярной шапки. Авторы [28] полагают, что упомянутое различие между ПТВ и температурой за последние 20 лет является, по видимому, реальным, хотя, конечно, оценки трендов температуры за столь короткий промежуток времени нельзя считать климатически репрезентативными.

Тренд похолодания стратосферы, выявленный данными аэрологических наблюдений начиная

с 1960-х гг. и подтвержденный результатами спутникового СВЧ-зондирования (после 1979 г.), нельзя объяснить только как природно обусловленный. Вероятно, этот тренд сформировался под воздействием спада содержания озона в стратосфере и роста концентрации ПГ (как известно, согласно расчетным данным, последний также порождает похолодание стратосферы). Общая циркуляция в стратосфере реагировала на радиационно обусловленные изменения поля температуры таким образом, что подобная реакция оказалась особенно значительной в высоких широтах зимнего полушария, где наблюдалось понижение температуры стратосферы, достигавшее 5 °С.

За последние несколько десятилетий происходили изменения не только поля температуры, но и общей циркуляции тропосферы. Так, например, над Тихим океаном в 1976 г. произошли изменения климата, сходные с наблюдаемыми при формировании явления Эль-Ниньо. В субполярных широтах как северного, так и южного полушарий имело место постепенное усиление западно-восточного переноса зимой. Подобная динамика общей циркуляции требует тщательного мониторинга, особенно потому, что она может отображать изменения природных мод циркуляции под воздействием антропогенно обусловленных вариаций климата, хотя, несомненно, что задача «отфильтрования» антропогенного вклада является исключительно сложной.

6. Обуславливают ли парниковые газы изменения климата?

Это еще один риторический вопрос (при отсутствии парникового эффекта атмосферы, главный вклад в формирование которого вносит водяной пар, жизнь на Земле была бы невозможна). Речь в действительности идет о том, в какой степени рост концентрации ПГ в атмосфере определял происшедшее в прошлом веке глобальное потепление. Согласно Отчету МГЭИК (Межправительственной группы экспертов по проблеме изменений климата) [29] «наблюдавшееся за последние 50 лет потепление было, вероятно, обусловлено ростом концентрации парниковых газов, и этот вывод отображает современные представления научного сообщества» (заметим в связи с этим, что если некоторое время тому назад была весьма популярна абсурдная ссылка на «консенсус», то сейчас она заменена упоминанием о мнении «научного сообщества», что, разумеется, снова свидетельствует о неутомимом стремлении к игнорированию взглядов оппонентов «ортодоксальной» точки зрения).

Авторы [29] справедливо отмечают, что хотя степень достоверности выводов МГЭИК сейчас выше, чем 5–10 лет тому назад, все еще сохраняются существенные неопределенности, поскольку: 1) отсутствуют достаточно достоверные оценки внутренне обусловленной изменчивости климатической системы в масштабах времени от десятилетий до столетий; 2) сомнительна способность моделей климата адек-

ватно воспроизводить подобную изменчивость; 3) требуется критическая оценка достоверности косвенных палеоклиматических данных.

Концептуально важный вывод относительно интерпретации данных наблюдений, сделанный в [29], состоит в том, что «ввиду большой и все еще неопределенной природно обусловленной изменчивости климата, а также неопределенности эволюции со временем различных климатообразующих возмущающих воздействий (особенно это относится к аэрозолю), невозможно установить однозначную связь между ростом концентрации парниковых газов в атмосфере и наблюдавшимися в 20-м веке изменениями климата. Тот факт, что величина наблюдавшегося потепления велика по сравнению с рассчитанной при помощи моделей климата природно обусловленной изменчивостью, свидетельствует о возможности такого рода связи, но не может рассматриваться как ее доказательство, поскольку результаты численного моделирования могут недостаточно достоверно воспроизводить природно обусловленную изменчивость климата в масштабах времени от десятилетий до столетий».

Подводя итог обсуждению данных наблюдений, авторы [28] справедливо отметили: «Несмотря на неопределенности, существует общее согласие по поводу того, что наблюдавшееся потепление реально и было особенно сильным за последние 20 лет.

Согласуется ли это потепление с изменениями, которые следует ожидать с учетом антропогенных факторов, зависит от предположений относительно эволюции со временем концентрации ПГ в атмосфере и других возмущающих воздействий, особенно обусловленных атмосферным аэрозолем».

7. В какой степени и где произойдут изменения температуры в следующие 100 лет?

Согласно [29] к концу XXI в. должно возникнуть повышение среднеглобальной среднегодовой ПТВ в пределах 1,4–5,8 °С, т.е. этот интервал несколько шире, чем принятый ранее во Втором отчете МГЭИК (1,5–4,5 °С). Разумеется, оценки глобального потепления зависят от адекватности задания сценариев роста концентрации ПГ со временем, надежность которых, в конечном счете, определяется условностью сценариев глобального социально-экономического развития. Так, например, при численном моделировании климата обычно задается скорость роста концентрации CO₂, равная 1% в год, тогда как в течение последнего десятилетия XX в. она составила лишь 0,6% в год и дальнейшее изменение концентрации CO₂ предсказать практически невозможно. Безусловно, важное значение для обеспечения достоверности оценок глобального потепления имеет адекватность моделей климата, остающаяся весьма ограниченной. Расчеты выявили, например, усиление потепления климата с широтой, особенно зимой и весной, но реальная пространственно-временная изменчивость ПТВ в Арктике является гораздо более сложной [8].

8. В какой степени ожидаемые изменения климата являются следствием процессов, обусловленных климатическими обратными связями?

Это снова риторический вопрос, поскольку давно и хорошо известна ключевая роль разнообразных обратных связей в формировании климата. Более важная проблема состоит в оценках вкладов различных обратных связей в формирование климата [4–8].

9. Какими окажутся последствия (например, экстремальные условия погоды, влияние на здоровье людей) различных антропогенных воздействий?

Можно ожидать, что в ближайшей перспективе рост концентрации CO₂ благоприятно скажется на сельском хозяйстве и росте лесов (за счет обусловленной подобным ростом «фертилизации» и повышения эффективности водопотребления растениями [5]). Неопределенность прогнозов региональных климатических условий (особенно аномалий засухливости или увлажнения) не позволяет достаточно достоверно предсказать влияние изменения климата на динамику экосистем. Весьма детальный анализ такого рода был осуществлен, однако, для территории США (см. [6]).

10. Существует ли научное обоснование «приемлемого» уровня концентрации ПГ?

Ответ на этот вопрос, связанный с решением проблем риска и экономических потерь, пока не был дан, хотя ясно, конечно, что риск возрастает по мере усиления изменений климата.

11. Каковы существенные расхождения между содержанием отчетов МГЭИК и содержащимся в них резюме для лиц, принимающих решения?

Авторы [28] полагают, что «полный отчет Рабочей группы I МГЭИК [29] представляет собой замечательный итог разработок в области науки о климате, а Техническое резюме является его адекватной характеристикой. Полный отчет и Техническое резюме не ставили перед собой задачи специального обсуждения вопросов экологической политики. Резюме отчета, предназначенное для лиц, принимающих политические решения (SPM), характеризуется меньшим вниманием к проблеме неопределенностей оценок и более сильной озабоченностью относительно антропогенно обусловленных изменений климата».

По поводу такого рода общей оценки Отчета МГЭИК-2001 [29] следует заметить, что: 1) при всей содержательности сделанного в Отчете обзора он характеризуется существенной неполнотой и неадекватностью (практически отсутствуют, например, даже

ссылки на важные российские публикации); 2) хотя важной новой особенностью документа [28] является осторожность формулировок, подчеркивающих неопределенности оценок причин современных изменений глобального климата и, тем более, прогнозов его изменений в будущем (это проявилось и в том, что речь идет не о «прогнозах», а о «проектировках»), резюме SPM сформулировано в духе концепции антропогенной природы современных изменений климата и, следовательно, апологетики Протокола Киото, для чего нет, в действительности, никаких оснований. Существует, таким образом, серьезное противоречие между полным Отчетом МГЭИК-2001 и SPM.

12. Каковы те области науки, которые требуют дальнейшего развития (в порядке их приоритетов) для достижения более глубокого понимания изменений климата?

В этой связи в [28] подчеркнута прежде всего необходимость решения фундаментальных задач, связанных с накоплением ПГ в атмосфере и с изучением динамики климатической системы. К числу отдельных аспектов такого рода проблематики принадлежат: 1) прогнозы использования ископаемых топлив в будущем; 2) оценки возможных в будущем выбросов в атмосферу; 3) оценки доли остающегося в атмосфере углекислого газа, выброшенного за счет сжигания ископаемых топлив, а также соотношений между связанным с этим РВВ, обменом между атмосферой и океаном и с биосферой суши; 4) анализ обратных связей в климатической системе, определяющих величину и скорость усвоения энергии океаном, от чего (в конечном счете) зависит эволюция температуры (при заданном РВВ); 5) изучение закономерностей изменений климата в региональных и локальных масштабах на фоне глобальных изменений; 6) выявление природы и причин природно обусловленной изменчивости климата и ее взаимодействий с различными вынуждающими воздействиями; 7) оценка прямого и косвенного воздействий атмосферного аэрозоля на климат. К сожалению, приведенная в [28] краткая характеристика приоритетной проблематики очевидным образом исходит из стереотипа антропогенного изменения климата («парникового» эффекта). Этот вывод будет более детально обсужден далее.

Авторы [28] справедливо подчеркнули в заключение необходимость усиления внимания к разработкам, раскрывающим закономерности взаимодействия природы и общества, которые должны включать: 1) междисциплинарные исследования интерактивных физических, химических и биологических процессов, взаимодействующих с динамикой социально-экономического развития; 2) расширение возможностей интеграции научных знаний, включая оценки соответствующих неопределенностей в системах поддержки решений; 3) поддержку разработок на региональном и секторальном уровнях, позволяющих оценить реакции антропогенных и природных систем на разнообразные возмущающие воздействия.

Обеспечение эффективной стратегии повышения адекватности понимания изменений климата требует также: 1) создания глобальной системы наблюдений для долговременного мониторинга климата и обеспечения потребностей моделей прогноза климата в соответствующей информации; 2) более высокой концентрации усилий в области численного моделирования климата с использованием суперкомпьютеров; 3) обеспечения более адекватной поддержки, повышения уровня эффективности и инновационного потенциала разработок, связанных с изучением климата.

Подводя итоги, отметим, что весьма содержательный документ [28] страдает существенной неполнотой и определенной односторонностью. Обратимся поэтому к более системному и полному обсуждению проблемы.

II. Концептуальные аспекты проблемы изменений климата

Ключевые вопросы исследований современных изменений климата, включая и анализ соответствующих противоречивых суждений и оценок, были достаточно детально обсуждены в недавних публикациях [7, 8]. Краткий, но очень содержательный анализ проблемы дан Х. Эллзэссером [34a]. Избегая повторов, рассмотрим наиболее важные аспекты проблемы. Как обоснованно отмечено в [30a], сторонники антропогенной («парниковой») концепции «глобального потепления» опираются на три главных тезиса:

1. Современные изменения температуры являются, в основном, антропогенными и определяются ростом концентрации в атмосфере парниковых газов (прежде всего CO_2 и CH_4).

2. Согласно результатам численного моделирования климата к 2100 г. может возникнуть повышение ПТВ в пределах 1,4–5,8 °С. Следует заметить, что обращает на себя внимание противоречивость оценок этого интервала. Опубликованная С. Аррениусом в 1896 г. первая оценка чувствительности глобального климата (определяемой как повышение среднеглобальной приземной температуры воздуха при удвоении концентрации CO_2 в атмосфере) составляла $\Delta T_{2x} = 5,4$ °С. Согласно последующим оценкам, полученным с применением моделей различной сложности [18], величина ΔT_{2x} варьировала в широких пределах – от 0,24 до 9,6 °С. Во втором отчете Межправительственной группы экспертов по проблеме изменений климата (МГЭИК-1996) рекомендуется как наиболее вероятный интервал 1,5–4,5 °С, а в Третьем отчете (МГЭИК-2001) этот интервал определен как составляющий 1,4–5,8 °С. Из оценок по палеоклиматологическим и инструментальным данным по ПТВ следует, что интервал значений ΔT_{2x} может быть еще более широким: 0,7–10 °С. Во всех этих случаях не было, однако, получено оценок соответствующих функций распределения вероятности (*pdf*) для значений ΔT_{2x} .

На основе использования приближенной модели климата для системы «атмосфера–океан» Н. Андро-

нова и М. Шлезинджер [18] сделали расчеты, которые показали, что если учесть природно обусловленную изменчивость климата и неопределенность оценок климатических возмущающих воздействий, то интервал значений ΔT_{2x} (при 90%-м доверительном уровне) составляет 1,0–9,3 °С. Это означает, что с вероятностью, равной 54%, величины ΔT_{2x} выходят за пределы, рекомендованные МГЭИК-1996. Обсужденное численное моделирование опирается на рассмотрение 16 моделей радиационного возмущающего воздействия за счет парниковых газов, сульфатного аэрозоля (с учетом как прямого, так и косвенного воздействия) и тропосферного озона. В случае 90%-го доверительного уровня разброс оценок РВВ, обусловленных аэрозолями, равен $-0,54 \div -1,30$ Вт/м².

3. Устойчивость климата может быть обеспечена только снижением выбросов ПГ в атмосферу.

Необоснованность этих тезисов была продемонстрирована во многих публикациях, включая [7, 8, 30a, 34a]. Рассмотрим в этой связи некоторые новейшие публикации.

Провал состоявшейся в ноябре 2000 г. в Гааге Международной конференции СОР-6 представителей государств, подписавших Международную рамочную конвенцию по проблеме изменений климата (FCCC), нельзя считать неожиданным, поскольку участники СОР-6 не были в достаточной мере стратегически подготовленными, не располагали необходимой научной информацией. Оказалась, в частности, проигнорированной важнейшая проблема неопределенности оценок резервуаров и потоков парниковых газов. После СОР-6 проблема еще более обострилась, ввиду отказа президента США Д. Буша от поддержки Протокола Киото. С другой стороны, опубликованный Межправительственной группой экспертов по проблеме изменений климата в 2001 г. Третий отчет МГЭИК содержит вывод о том, что имеющаяся информация позволяет с еще большей убедительностью говорить о вкладе ПГ в формирование изменений климата и с еще большей вероятностью предсказывать изменения климата.

Как справедливо отметили С. Нильссон и др. [72], в связи с этим ключевое значение приобретают оценки неопределенностей тех оценок, на которые опираются выводы об изменениях климата и мерах по их предотвращению. Особенно важное место занимает проблема верификации уровней выбросов ПГ в атмосферу. Очевидно, что без осуществления надежной верификации все рассуждения относительно экологических выгод различных мер и финансовые оценки оказываются абстрактными. Как могут быть, например, обоснованы штрафы за невыполнение рекомендаций ПК по сокращению выбросов парниковых газов, если невозможно доказать, что выбросы в 2012 г. будут отличаться от выбросов в 1990 г.

До сих пор в ходе политических дискуссий по ПК игнорировались, в частности, количественные оценки неопределенностей уровней стоков ПГ (это особенно относится к биосфере). Неопределенности оценок суммарных потоков CO_2 являются, однако,

очень существенными (в условиях России превосходя 100%). Вычисления погрешностей оценок суммарных потоков ПГ привели к значениям в пределах примерно 5–25%, тогда как предусмотренные ПК уровни сокращения выбросов ПГ составляют, в среднем, около 5%. Среднеглобальную ситуацию иллюстрирует, например, то обстоятельство, что неопределенности оценок выбросов ПГ за счет систем производства энергии примерно равны неопределенностям оценок усвоения CO₂ биосферой суши. В такого рода ситуации решение проблем неопределенностей оценок (в первую очередь речь идет о достоверной информации о круговоротах углерода) и верификации приобретает особенно важное значение. Решение проблемы верификации требует принятия соглашения о ее механизмах, что имеет важное значение также и с финансовой точки зрения. Результаты имитационного численного моделирования указывают, например, на то, что если доверительный уровень осуществления сокращения ПГ на 5,2% поднять с 5 до 95%, то это повлечет за собой повышение расходов на меры по сокращению выбросов ПГ в 3–4 раза. Главный вывод состоит в том, что наука должна служить компасом для рекомендаций мер в области экологической политики. В этом отношении провал COP-6 может стать исцеляющим шоком.

Согласно мандату Межправительственной Группы экспертов по проблеме изменений климата поставленная перед МГЭИК задача состоит в том, чтобы подготовить обзор «любых изменений климата со временем, как природно обусловленных, так и антропогенных». Р. Пильке [76] показал, однако, что, по меньшей мере, два климатообразующих фактора оказались неучтенными: 1) влияние на глобальный климат антропогенно обусловленных изменений характеристик поверхности суши; 2) биологические воздействия роста концентрации углекислого газа в атмосфере (включая «эффект фертилизации»). Если справедливо, что оба эти фактора существенны, то придется сделать вывод, что согласие результатов численного моделирования глобального климата (речь, в действительности, идет главным образом о среднеглобальной среднегодовой приземной температуре воздуха) является случайным.

В этой связи в работе [76] обсуждена информация, подтверждающая существенность обоих упомянутых климатообразующих факторов, и высказаны соображения о возможностях проверки обоснованности такого рода вывода. Для подобной проверки могут быть использованы данные о влиянии антропогенно обусловленных изменений характеристик поверхности суши на местный, региональный и глобальный климат, иллюстрирующие тот факт, что это влияние, по крайней мере, столь же важно учитывать, как и воздействие удвоения концентрации CO₂ в атмосфере (а также роста концентрации других парниковых газов). Не менее существенно то обстоятельство, что взаимодействие атмосферы и подстилающей поверхности характеризуется наличием различных нелинейных обратных связей (см. [34]), по-

этому прогноз изменений климата на сроки продолжительнее сезона может оказаться невозможным.

Что касается возможных биологических воздействий роста концентрации CO₂, то они проявляются в форме краткосрочного (биофизического), среднесрочного (биогеохимического) и долгосрочного (биогеографического) влияния ландшафтообразующих процессов на погоду и климат. Биофизическое влияние включает, например, воздействие транспирации на соотношение потоков скрытого и явного тепла как компонентов теплового баланса подстилающей поверхности. К числу биогеохимических воздействий относится влияние роста растений («эффект фертилизации») на площадь поверхности листьев, с которой происходит испарение, на альбедо подстилающей поверхности и на запасы углерода. Одним из проявлений биогеографических воздействий служит изменение видового состава растительных сообществ со временем.

Результаты численного моделирования отчетливо свидетельствуют о том, что без учета биофизических и биогеохимических воздействий оценки изменений климата не могут быть достоверными. Дальнейшее развитие моделей климата должно содержать, в частности, рассмотрение следующих аспектов формирования климата: 1) прямые и косвенные воздействия динамики ландшафтов через посредство биофизических, биогеохимических и биогеографических процессов; 2) учет антропогенно обусловленных изменений землепользования в различных (локальных, региональных и глобальных) пространственно-временных масштабах; 3) оценки возможностей прогноза климата с заблаговременностью более сезонной (имеется в виду функционирование многочисленных нелинейных обратных связей, определяющих взаимодействие атмосферы и подстилающей поверхности). Нерешенность этих и других задач ограничивает значение отчета МГЭИК-2001 и Национального отчета США как содержащих лишь оценки чувствительности глобального климата к изменениям некоторых климатообразующих факторов.

М. Маккрэкен [66] отметил, что в ходе продолжительного процесса подготовки трех уже опубликованных (1990, 1996 и 2001 гг.) отчетов Межправительственной Группы экспертов по проблеме изменений климата осуществлялся все более полный анализ климатообразующих факторов (так, например, кроме парниковых газов рассматривался атмосферный аэрозоль) и разнообразных обратных связей. Несмотря на это, уже достигшие к настоящему времени очень высокого уровня сложности численные модели климата все еще не могут считаться достаточно полными с точки зрения учета всех существенных климатообразующих факторов. Новым шагом вперед в Отчете МГЭИК-2001 был учет возмущающего воздействия (ВВ) антропогенно обусловленных изменений землепользования на климат, ограниченный, однако, рассмотрением лишь влияния динамики землепользования, начиная с 1750 г., на альбедо подстилающей

поверхности. Полученные в связи с этим оценки привели к среднему значению ВВ, равному $0,2 \text{ Вт/м}^2$ при интервале неопределенности $0 \pm 0,4 \text{ Вт/м}^2$. Таким образом, подобные оценки характеризуются высокой степенью неопределенности, причем это касается даже знака ВВ (более полный учет биофизических, биогеохимических и биогеографических воздействий эволюции природопользования на климат привел к выводу, что в данном случае $ВВ > 0$).

В этой связи важное значение имеет принятие в Отчете МГЭИК-2001 нового диапазона возможного глобального потепления к 2001 г. ($1,4 \pm 5,8 \text{ }^\circ\text{C}$), обоснование которого опирается только на данные численного моделирования (и поэтому будет неизбежно изменяться в будущем). Проблема состоит еще и в том, что новый диапазон не может быть непосредственно сопоставлен с полученными ранее аналогичными оценками. С точки зрения анализа достоверности оценок изменений климата в будущем важное значение имеет использование в Отчете МГЭИК-2001 термина «проектировки» (projections) вместо «прогнозов» (predictions), поскольку последний означает, что те факторы, которые не приняты во внимание, не окажутся существенными в будущем. Именно неприемлемость последнего предположения является причиной того, что ни один специалист в области численного моделирования не станет утверждать, что возможен прогноз климата с заблаговременностью порядка 100 лет.

Ключевым аспектом численного моделирования климата в контексте учета антропогенных воздействий являются разработка и применение интерактивной модели климата и круговорота углерода. Важный шаг в этом направлении сделан в работе Л. Харви и З. Хуанга [51].

В широко использовавшихся ранее интерактивных одномерных моделях системы «атмосфера–океан» одним из наиболее важных параметров является коэффициент вертикальной диффузии в океане, характеризующий интенсивность тепло- и массообмена между океаном и атмосферой. Как в одномерных, так и в трехмерных моделях этот параметр задается априорно с использованием «настройки» путем сравнения результатов численного моделирования с данными наблюдений. Однако даже и при «настройке» имели место существенные расхождения оценок k_v . В этой связи Л. Харви и З. Хуанг [51] разработали относительно простую интерактивную модель системы «атмосфера–океан–круговорот углерода», которая может быть использована с целью численного моделирования процессов усвоения тепла и CO_2 океаном и получения оценок изменений уровня океана за счет термического расширения.

Главная мотивация для разработки модели состояла в стремлении изучить взаимодействие между атмосферой и океаном в контексте формирования круговорота углерода и, вслед за тем, – применить модель для анализа климатических последствий задания различных сценариев антропогенных выбросов парниковых газов и аэрозоля. С другой стороны, – важная задача применения модели состоит в воспроиз-

ведении природно обусловленных изменений климата и круговорота углерода в геологических масштабах времени.

Обсуждаемая модель рассматривается как диагностическая, но не прогностическая, при главном внимании к процессам в глобальных масштабах. Последнее определяет выделение трех регионов земного шара (двух полярных и одного неполярного) со специфическим разрешением по вертикали. Модель позволяет воспроизвести вертикальные распределения таких параметров океана, как концентрация растворенного неорганического углерода, фосфатов и растворенного кислорода, щелочность, температура, а также описать функционирование «биологического насоса», обуславливающего образование органических тканей, кальцита и аргонита. Формирование донных вод происходит в одном из полярных регионов за счет взаимодействия с атмосферой и конвективного перемешивания в океане с последующим переносом вод в нижнюю часть неполярного региона. Донные воды, сформировавшиеся в регионе полярного даунвеллинга, затем претерпевают апвеллинг в неполярном регионе, хотя часть их поступает с промежуточных глубин во второй полярный регион.

В работе [51] детально обсуждены особенности климата, возникающего в условиях рассматриваемой интерактивной модели. В связи с этим обосновано определение относительного эффективного коэффициента диффузии k_v для различных трассеров. Расчеты показали, что значения k_v минимальны для температуры, имеют промежуточный уровень в случае углерода и максимальны для растворенного кислорода. Получены существенно меньшее значение k_v для температуры в верхнем слое океана, чем использованное ранее в одномерных моделях ($\sim 0,2 \text{ см}^2/\text{с}$ вместо $0,6\text{--}1,0 \text{ см}^2/\text{с}$), а также меньшая максимальная скорость апвеллинга (2 м/год вместо 4 м/год). Следствием учета конвективного перемешивания в явном виде оказалось значительное влияние изменений интенсивности термохалинной циркуляции на нестационарную реакцию температуры поверхности и подъем уровня океана. По этой причине реакция температуры поверхности и уровня океана на уменьшение интенсивности термохалинной циркуляции оказалась существенно иной (более быстрой), чем полученная ранее на основе классической одномерной модели. Это означает, в частности, что чувствительность климата к внешним возмущающим воздействиям, согласующаяся с данными наблюдений за последние 140 лет, примерно на 10% ниже, чем в случае классической модели.

Сравнение результатов численного моделирования вертикальных профилей различных трассеров (включая отношения концентрации изотопов) с использованием одномерной интерактивной модели системы «атмосфера–океан–круговорот углерода» и данными наблюдений выявило необходимость воспроизведения следующих характеристик [52]: 1) скорости апвеллинга в неполярном регионе, достигающей максимального значения около 2 м/год на глубине 1 км при постепенном уменьшении скорости ниже и выше

этого уровня глубины; 2) неодинаковых значений эффективного коэффициента вертикальной диффузии для температуры и различных трассеров в верхнем 0,5-км слое океана; 3) отношения скоростей образования карбонатного углерода и органического углерода, равного всего лишь 0,09. В частности, из данных наблюдений (в сочетании с информацией о перемешивании вдоль изопикнических поверхностей и результатами численного моделирования) следует, что эффективный коэффициент вертикального перемешивания в верхнем слое океана должен быть минимальным для температуры и максимальным для растворенного кислорода, при значениях щелочности и концентрации фосфата, которые несколько меньше, чем для растворенного неорганического углерода (DIC).

Л. Харви [52] показал, что задание параметров модели, «настроенных» по данным доиндустриальных наблюдений распределений трассеров, обеспечило наилучшее согласие с результатами наблюдений изменений концентрации изотопов. Взаимодействие между щелочностью (ранее не учитывавшейся, как правило, в подобных моделях) и DIC сглаживает влияние изменений параметров модели на стационарный уровень pCO_2 в атмосфере. Расчеты обнаружили нечувствительность к параметрам перемешивания, заданным в модели, рассчитанных значений усвоения океаном антропогенного CO_2 и эволюции содержания CO_2 в атмосфере в период до 2200 г. (при неизменности параметров в течение всего этого периода). Оценки чувствительности рассчитанных значений pCO_2 к изменениям температуры теплой поверхности океана хорошо согласуются с аналогичными результатами, полученными с помощью трехмерной модели круговорота углерода в океане.

Несмотря на весьма популярные рассуждения о «консенсусе» в оценках причин современных изменений климата, интенсивное развитие как эмпирической диагностики, так и численного моделирования глобального климата привело ко многим неожиданным и нередко противоречивым результатам. К числу подобных результатов относятся выводы о закономерностях изменения радиационного баланса Земли (РБЗ), полученные Б. Вьелицки и др. [90] на основе анализа данных спутниковых наблюдений РБЗ. Принято считать, что при больших масштабах пространственно-временного осреднения изменчивость РБЗ и его компонентов (поглощенной солнечной и уходящей длинноволновой радиации – УДР) незначительна. Обработка данных спутниковых наблюдений за два десятилетия, относящихся к тропикам, обнаружила, однако, значительно более сильную изменчивость, чем предполагавшаяся ранее. Причиной подобной изменчивости, которую оказались неспособными воспроизвести современные модели климата, является динамика облачного покрова. Весьма неожиданным стало обнаружение спада УДР около 2 Вт/м^2 , наблюдавшегося в период с конца 1970-х гг. до середины 1980-х гг., и последующего его подъема около 4 Вт/м^2 с конца 1980 г. до 1990-х гг. Поскольку изменения РВВ порядка 1 Вт/м^2 являются климатически

существенными, природную изменчивость УДР в тропиках, достигающую 4 Вт/м^2 , следует рассматривать как очень сильную, причем она не может быть объяснена как прямое следствие глобального потепления.

В согласии с выводами Б. Вьелицки и др. [90] выполненный Д. Ченом и др. [27] анализ данных спутников TRMM (начал функционировать в 1998 г.) и Terra (функционирует с 2000 г.) обнаружил, что значения потока уходящей длинноволновой радиации оказались на $5\text{--}10 \text{ Вт/м}^2$ ($2\text{--}4\%$) больше полученных по данным узкоугольной сканирующей спутника ERBE (1985–1989 гг.), что нельзя было объяснить только различиями в аппаратуре. Данные широкоугольного датчика ERBE, охватывающие более длительный период времени (1985–1995 гг.), свидетельствуют о наличии положительного тренда УДР, проявившегося главным образом в первой половине 1990-х гг. За весь период 1985–2000 гг. наблюдалось возрастание УДР в тропиках, составившее более 5 Вт/м^2 , тогда как в случае уходящей коротковолновой радиации (УКР) имел место спад меньше 2 Вт/м^2 .

После минимизации влияния явления Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК) на изменчивость полей УДР и УКР была получена информация об «остаточной» долговременной изменчивости УДР и УКР. Такого же рода анализ данных по влажности верхней тропосферы, количеству облаков, приземной температуре воздуха и вертикальной скорости показал, что долговременные изменения УДР и УКР были связаны с происходившими в масштабах десятилетия изменениями тропических циркуляций Уолкера и Гадлея, которые выразились в интенсификации конвекции в полосе экватора, сопровождавшейся усилением восходящих движений и возрастанием влагосодержания атмосферы, тогда как регионы экваториальных и субтропических нисходящих движений характеризовались уменьшением влагосодержания атмосферы и количества облаков. Наблюдавшаяся интенсификация ячеек циркуляций Уолкера–Гадлея скорее всего определялась влиянием природно обусловленной долговременной изменчивости в масштабах времени порядка десятилетия и более. Окончательный вывод сделать, однако, трудно ввиду недостаточной продолжительности рядов спутниковых наблюдений. Таким образом, в тропиках существует значительная изменчивость компонентов РБЗ в десятилетних масштабах, установление природы которой требует дальнейших исследований (см. [27, 50]).

Крайне слабо изученным остается воздействие солнечной активности на климат [4, 14, 46, 57, 62]. Внимание к этой проблематике ограничивалось главным образом оценками влияния изменений внеатмосферной инсоляции. Как известно, изменчивость интегральной внеатмосферной солнечной радиации (солнечной постоянной – СП) характеризуется наличием 11-летней цикличности и, возможно, более долговременными вариациями. Из данных спутниковых наблюдений следует, что в период максимума солнечной активности (1981 и 1989 гг.) СП была на $0,08\%$ выше, чем во время минимума активности (1986 г.).

Со времени маундерова минимума в XVII в. произошло, по-видимому, возрастание СП на 0,2% или больше. Изменения СП сопровождаются значительными вариациями спектрального состава внеатмосферной солнечной радиации [62]. За время последних циклов солнечной активности происходили изменения УФ-радиации в интервале длин волн 200–295 нм, достигавшие 1,2%, в интервале 295–310 нм – 0,36%.

Анализ данных ледяных кернов привел к выводу, что в масштабах столетий происходили изменения приземной температуры воздуха порядка 0,5 °С, которые (как показали результаты численного моделирования климата) можно объяснить вариациями СП в пределах 0,2–0,3%. Солнечно обусловленные изменения температуры у земной поверхности и в тропосфере, а также содержания озона, атмосферного давления и температуры в стратосфере были замечены и в масштабах десятилетий. Если в ходе снижения выбросов парниковых газов в атмосферу обусловленное ими радиационное возмущающее воздействие снизится за последующие 50 лет до 1 Вт/м², то это означает повышение значимости солнечно обусловленного РВВ. В 1996 г. начался 23-й цикл солнечной активности. Среднегодовое значение СП в 2000 г. (вблизи максимума активности) было примерно на 1 Вт/м² выше, чем в годы минимума активности (1986 и 1996 гг.). Это возрастание сравнимо с наблюдавшимися в ходе 21-го и 22-го циклов.

На основе использования эмпирической зависимости СП от солнечного радиоизлучения на длине волны 10,7 см были получены прогнозные оценки изменения СП до 2018 г. Максимум СП в ходе 24-го цикла должен наблюдаться в 2010 г. при таком же или несколько меньшем значении СП, чем во время максимумов в 2000, 1989 и 1981 гг. Минимумы СП должны иметь место в 2006 и в 2016 гг. Долговременный тренд СП, налагающийся на 11-летнюю цикличность, не должен превысить наблюдавшийся за последние 350 лет и составляет менее ±0,4 Вт/м² за 10 лет, а в случае УФ-радиации должен быть равен ±0,1 Вт/м² (295–310 нм) и ±0,04 Вт/м² (200–295 нм). Если учесть совместное воздействие цикличности и тренда, то солнечно обусловленное РВВ за период между минимумами 11-летнего цикла в 1996 и 2016 гг. окажется в пределах ±0,1 Вт/м², тогда как суммарное антропогенное РВВ за 22-летний период может достигнуть 0,5–0,9 Вт/м².

Неожиданные результаты дали осуществленные за последние годы палеоклиматические исследования при высоком разрешении по времени, которые выявили наличие в прошлом внезапных и больших изменений температуры воздуха. Так, например, анализ данных полученных в Гренландии ледяных кернов обнаружил большие и быстрые изменения приземной температуры воздуха в период последнего оледенения [80]. Изменения ПТВ в Гренландии достигали 10 °С за время порядка десятков лет. Вполне естественно предположить, что аналогичные синхронные изменения происходили и во всем регионе Северной Атлантики, поскольку вариации ПТВ в Гренландии были

связаны с миграцией Атлантического полярного фронта – границы раздела между водными массами полярных и умеренных широт (в регионе от Гренландии до южного побережья Португалии). Данные анализа антарктических ледяных кернов охватывают значительно более длительный период времени, чем гренландские ледяные керны (не один, а несколько циклов оледенений).

За последние годы стало ясно (по данным антарктических ледяных кернов), что наблюдались существенные изменения ПТВ в масштабах тысячелетий и в более коротких масштабах времени. В этой связи очень перспективно сравнение палеоклиматических данных для обоих полушарий, которое может дать, в частности, ответы на следующие вопросы: 1) проявляются ли изменения ПТВ в масштабах тысячелетий на всем земном шаре? 2) происходят ли изменения температуры в обоих полушариях синхронно или функционирование «полярных качелей» порождает перенос тепла из одного полушария в другое? 3) какие факторы обуславливают подобную гигантскую изменчивость? Работа [20а] дает частичный ответ на эти вопросы на основе использования данных об изменениях концентрации метана для обеспечения достаточно надежной привязки по времени палеоизменений ПТВ в обоих полушариях. Именно это позволило обосновать наличие корреляции между изменениями ПТВ в обоих полушариях в течение последнего ледникового периода.

В период низкой температуры в Гренландии происходило постепенное повышение ПТВ в Антарктике, которое сменялось понижением, когда ПТВ в Гренландии оказывалась относительно высокой. Важно при этом, что переход от условий холодного к теплому климату происходил в Гренландии исключительно быстро (за время порядка нескольких десятилетий), а переход от постепенного потепления к похолоданию в Антарктике возникал каждый раз во время внезапных потеплений в Гренландии также за время порядка нескольких десятилетий. Ясно, таким образом, что изменения ПТВ в обоих полушариях не являются синхронными. Одновременными оказываются, однако, изменения температуры поверхности океана в Северной Атлантике и ПТВ над Гренландским ледяным щитом. Напротив, глубинные воды Северной Атлантики характеризуются наличием «сигнала» изменений ПТВ в Антарктике. Механизм «полярных качелей» все еще остается неясным.

В отличие от последнего ледникового периода с характерными для него быстрыми изменениями климата в масштабах тысячелетий, климат периода голоцена рассматривался обычно как классический пример устойчивости. Подобное суждение поколебали, однако, результаты анализа ледяных кернов из Гренландии и Антарктики, а также кернов донных морских осадочных пород из регионов Северной Атлантики и Аравийского моря. Из этих результатов следует, что во время голоцена имели место климатические циклы в масштабах времени от столетних до тысячелетних, которые могли быть продолжением хорошо

известных быстрых изменений климата в течение последних ледниковых периодов, когда, в частности, происходили существенные изменения явления Эль-Ниньо/Южное колебание.

Одним из регионов, для которых имеются геологические данные об изменениях палеоклимата, является среднеширотная часть Чили, где исключительно сильный меридиональный градиент атмосферного давления контролируется широтным местоположением зоны западно-восточного переноса в южном полушарии. Ф. Лами и др. [60a] обсудили результаты анализа керн донных морских осадочных пород, взятого на континентальном склоне Чили (41° ю.ш.), который позволил получить информацию об изменчивости осадков за последние 7,7 тыс. лет. Из данных, содержащих главным образом сведения о концентрации железа, можно заключить о существовании вариаций осадков в масштабах времени от многих столетий до тысячелетий, которые налагаются на фоновый более аридный климат в период средней части голоцена (7,7 тыс. лет тому назад), чем во время позднего голоцена (4 тыс. лет тому назад и позднее).

Сравнения с данными анализа ледяных кернов из тропического пояса Южной Америки и прибрежной Антарктики показали, что похожие «полосы» изменчивости климата наблюдались и там. При этом вариации климата в тропиках Южной Америки определялись смещениями зоны западно-восточного переноса, тогда как природа изменений климата в Антарктике была более сложной и характеризовалась наличием смещения по фазе в начале позднего голоцена, которое совпало по времени с началом формирования современного состояния ЭНЮК. Таким образом, рассмотренные результаты подтверждают, что хорошо известная изменчивость климата в масштабах тысячелетий, наблюдавшаяся в период последнего оледенения, продолжалась и во время голоцена.

С середины XVI до начала XVII в. наблюдался минимум солнечной активности, получивший название маундерова. В этот период приземная температура воздуха в северном полушарии упала до минимальных значений за все прошедшее тысячелетие (в Западной Европе зимой спад ПТВ составил 1–1,5 °C). На основе использования разработанной в Годдардовском институте космических исследований модели глобального климата, содержащей детальный учет процессов в стратосфере, Д. Шинделл и др. [81] выполнили численное моделирование климата для оценки воздействия на климат изменений внеатмосферной инсоляции за время от маундерова минимума до последнего столетия, когда уровень внеатмосферной инсоляции был высоким на протяжении нескольких десятилетий. Анализ результатов вычислений обнаружил наличие небольшого (около 0,3–0,4 °C) изменения среднеглобальной ПТВ, что согласуется с имеющимися данными наблюдений.

Однако региональные изменения среднеглобальной ПТВ оказались довольно значительными и возникли главным образом за счет вынужденного смещения в направлении снижения индекса состояния

Арктической осцилляции/Северо-Атлантической осцилляции при спаде внеатмосферной инсоляции. В этих условиях происходило понижение ПТВ на континентах северного полушария, особенно зимой (до 1–2 °C), согласующееся с изменениями ПТВ по данным прямых измерений и косвенных индикаторов ПТВ. Таким образом, малые изменения солнечно обусловленного возмущающего воздействия могут играть важную роль как существенный фактор изменений климата в северном полушарии зимой в масштабах времени порядка столетия. В этой связи естественно предположить, что понижение ПТВ на континентах северного полушария зимой в XV–XVII вв. (получившее название Малого ледникового периода) и потепление климата в XII–XIV вв. (средневековый период потепления) были обусловлены влиянием долговременной изменчивости внеатмосферной инсоляции.

Исследования климатов прошлого представляют большой интерес в контексте прогнозов климата будущего. В этой связи особое внимание привлекает судьба антарктических ледников [63].

Последствием возможного коллапса находящегося в Западной Антарктике ледового щита (WAIS) было бы вероятное повышение уровня Мирового океана около 5 м. В средствах массовой информации подобный коллапс часто представляется как неизбежный результат антропогенно обусловленного глобального климата. Специалисты-гляциологи обсуждают, однако, другие причины разрушения WAIS. Можно, например, полагать, что ледяной щит все еще находится в состоянии восстановления нарушений после изменений, происшедших в период последнего оледенения. Многие специалисты считают, что наступление коллапса во время современного межледникового периода невозможно. Нерешенность и трудность решения проблемы WAIS определили необходимость следующей оценки, содержащейся во Втором отчете Межправительственной группы экспертов по проблеме изменений климата: «оценки вероятности коллапса в следующем столетии пока что невозможны». В такого рода ситуации важное значение приобретают оценки риска коллапса (понятие риска определяется как обусловленное сочетанием вероятности и последствий опасного явления).

В работе [87] предпринят анализ риска WAIS на основе использования методики Delfi опроса специалистов. Главное заключение, которое можно сделать при таком подходе, состоит в том, что согласно преобладающему мнению (существующие мнения весьма противоречивы) наиболее вероятно, что в течение ближайших нескольких столетий коллапса WAIS не случится. Можно утверждать, что при вероятности, равной 5%, обусловленный коллапсом WAIS подъем уровня Мирового океана составит менее 10 мм/год в течение интервала времени порядка 200 лет. Для снижения неопределенности оценок важно получить ответы на следующие вопросы:

- 1) Каков современный баланс массы WAIS?
- 2) Вызовет ли потеря шельфовых льдов значительное усиление выбросов льда в океан?

3) Превзойдет ли вклад обусловленного глобальным потеплением усиления осадков уровень выбросов льда?

4) Будет ли ослабление термохалинной циркуляции следствием потепления атмосферы и превзойдет ли ее воздействие влияние таяния шельфовых льдов, обусловленное повышением температуры?

5) Насколько важен механизм «ледяных стримеров» и какова его природа?

6) Каковы непрерывно сказывающиеся последствия перехода от ледникового к межледниковому периоду?

7) Могут ли «ледяные стримеры» существовать достаточно долго для того, чтобы обусловить коллапс WAIS?

8) Происходил ли коллапс WAIS в течение предшествующих межледниковых периодов?

Выполненный недавно анализ баланса массы WAIS привел к парадоксальному выводу о том, что, в среднем, происходило утолщение ледника [17].

Заключение

Главный вывод обзора состоит в том, что уровень понимания закономерностей изменчивости современного климата остается весьма ограниченным. Несомненно отсутствуют серьезные основания для выводов об антропогенной обусловленности современных изменений климата. Это связано с серьезными неопределенностями как результатов в области эмпирической диагностики, так и численного моделирования климата. К числу перспективных приоритетных разработок необходимо отнести:

1. Обоснование и осуществление глобальной системы долговременных наблюдений климата с использованием как обычных, так и спутниковых средств наблюдений. Несмотря на существование таких программ, как GCOS (Глобальная система наблюдений климата), GOOS (Глобальная система наблюдений океана), GTOS (Глобальная система наблюдений процессов на поверхности суши), IGOS (Глобальная интегральная система наблюдений), до сих пор отсутствует даже обоснование проблемно ориентированных систем наблюдений (проблема биогеохимических круговоротов, парникового эффекта атмосферы, динамики слоя озона и многие другие), что, с одной стороны, порождает избыточность данных наблюдений (используется, например, лишь ничтожная часть данных спутниковых наблюдений), а с другой стороны, – их дефицит [57, 59a]. Признано, например, что одна из главных неопределенностей численного моделирования климата связана с неадекватностью учета прямого и, особенно, косвенного воздействия аэрозоля на климат [29, 58]. До сих пор нет, однако, даже и программы такой системы наблюдений свойств разнообразного атмосферного аэрозоля, осуществление которой в будущем обеспечило бы получение необходимой информации [9a, 6], хотя вызывает удовлетворение усиление интереса к изучению свойств аэрозоля в условиях реальной атмосферы, иллюстрацией кото-

рого является опубликование двух тематических сборников *Journal of Geophysical Research*. D. (2002. V. 59. N 3. Parts 1, 2). Некоторые новейшие разработки свидетельствуют о необходимости более обоснованного статистического анализа длинных рядов данных наблюдений (в частности, выявления трендов) [12, 13, 33, 33a, 34], чем это было в прошлом. В контексте новых открытий в области изучения палеоклимата требует более пристального внимания проблема косвенных индикаторов изменчивости палеоклимата [24, 31a, 35].

2. Диагностика глобального климата все еще опирается на рассмотрение главным образом данных о температуре при явной недооценке анализа подобных данных в региональных масштабах. Хотя, конечно, препятствием для более полной диагностики служит дефицит длинных рядов наблюдений, однако уже накоплены, в частности, обширные массивы данных по облачности и радиационному балансу Земли, возможности анализа которых использованы явно недостаточно [40a, 49, 776, 84a, 89a, 92]. Интересные соображения о распознавании антропогенно обусловленных изменений компонентов водного баланса высказал Э. Вуд [91в]. Важный источник информации – изменения температуры в стратосфере [26a, 76a], иллюстрирующие наличие похолодания, но, как отметили В. Рамасвами и др. [76a], все еще не допускающие однозначной интерпретации причин похолодания.

3. Ключевым аспектом проблемы парникового эффекта атмосферы являются исследования биотической регуляции окружающей среды, тем не менее концепция биотической регуляции [42a] остается востребованной, хотя за последнее время она привлекла внимание в контексте гипотезы «Гайя» [56a, 62a, 78a]. В связи с этим остается недостаточно осознанной необходимостью интерактивного учета биосферы как важнейшего компонента климатической системы «атмосфера–гидросфера (океан и воды суши)–литосфера–криосфера–биосфера». Важный прогресс состоит, однако, в том, что сделаны первые шаги к разработке интерактивных моделей климата с учетом динамики биосферы и круговорота углерода.

4. Несомненно, отчасти из-за дефицита данных наблюдений, преувеличивается роль численных моделей глобального климата в достижении понимания закономерностей реального климата (например, в оценке внутренне обусловленной изменчивости климатической системы). Не вызывает сомнений то, что, несмотря на всю его сложность, численное моделирование все еще находится на начальном этапе своего развития. Справедливость подобного вывода иллюстрирует ограниченность учета интерактивности многочисленных процессов, определяющих динамику климатической системы (это относится, в частности, к важной проблеме взаимосвязанности изменений стратосферного и тропосферного озона и климата [19a, 59]). Все более актуальной становится задача анализа ограниченности возможностей численного моделирования и прогноза климата [8,786]. Очевидная необ-

ходимость учета в прогностических моделях социально-экономической динамики общества выдвигает столь серьезные требования к моделям, что возникает все еще слабо осознанная потребность анализа возможных пределов численного моделирования.

5. По-прежнему открытой остается проблема воздействия солнечной активности на климат [4, 5, 14, 46, 57, 60, 62, 77а].

Высказанные выше соображения представляют собой лишь фрагментный комментарий. Важная задача состоит в том, чтобы в ходе подготовки к Всемирной конференции по климату, которая состоится в Москве в 2003 г., подготовить взвешенную и реалистичную международную программу перспективных разработок, которая может быть обсуждена и одобрена на конференции. Разумеется, такого рода работу необходимо осуществить в тесном сотрудничестве с новым руководством МГЭИК.

1. *Большаков Д.Ю., Священников П.Н., Федоров Г.Б., Павлов М.В., Терещенко А.В.* Изменения климата Арктики за последние 10000 лет // Изв. Рус. геогр. о-ва. 2002. Т. 134. Вып. 1. С. 20–27.
2. *Демирчян К.С., Демирчян К.К., Данилевич Я.Б., Кондратьев К.Я.* Глобальное потепление, энергетика и геополитика // Энергетика. 2002. № 3. С. 3–23.
3. *Карнаухов А.В.* Роль биосферы в формировании климата Земли. Парниковая катастрофа // Биофизика. 2002. Т. 46. Вып. 6. С. 1138–1149.
4. *Кондратьев К.Я.* Глобальный климат. СПб.: Наука, 1992. 359 с.
5. *Кондратьев К.Я.* Экодинамика и экополитика. Т. 1. Глобальные проблемы. СПб.: СПб. НИЦ РАН, 1999. 1040 с.
6. *Кондратьев К.Я.* Возможные воздействия изменений климата в США на экосистемы и экономику // Изв. Рус. геогр. об-ва. 2001. Т. 133. Вып. 6. С. 24–37.
7. *Кондратьев К.Я., Демирчян К.С.* Глобальный климат и Протокол Киото // Вест. РАН. 2001. Т. 71. № 11. С. 1002–1009.
8. *Кондратьев К.Я.* Изменение глобального климата: реальность, предположения и вымыслы // Исслед. Земли из космоса. 2002. № 1. С. 3–23.
9. *Кондратьев К.Я., Лосев К.С.* Современный этап развития цивилизации и ее возможные перспективы // Вестн. РАН. 2002. № 7. С. 592–601.
- 9а. *Кондратьев К.Я.* Аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. 1. Физические свойства и химический состав // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15. № 2. С. 123–146.
- 9б. *Кондратьев К.Я.* Аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. 2. Прямое и косвенное воздействие на климат // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15. № 4. С. 301–320.
10. *Котляков В.М.* (ред.) Глобальные и региональные изменения климата и их природные социально-климатические последствия. М.: ГЕОС, 2000. 263 с.
11. *Кравин В.Ф., Кондратьев К.Я.* Глобальные изменения окружающей среды: экоинформатика. СПб.: СПб. НИЦ РАН, 2002. 721 с.
12. *Маккитрик Р.* Тренды в данных о температуре воздуха, полученные с учетом внутренне обусловленной корреляции // Изв. Рус. геогр. об-ва. 2002. Т. 134. Вып. 3. С. 16–24.

13. *Нагурный А.П., Майстрова В.В.* Долговременные тренды температуры свободной атмосферы в Арктике // Докл. РАН. 2002 (в печати).
14. *Скляр Ю.А.* Проблема оценки многолетнего тренда солнечной постоянной и его связи с глобальной температурой // Исслед. Земли из космоса. 2001. № 6. С. 11–17.
15. *Янишин А.Л., Будыко М.И., Израэль Ю.А.* Глобальное потепление и его последствия: стратегия принимаемых мер // Глобальные проблемы биосферы. М.: Наука, 2001. С. 10–24.
16. *Albrecht J.* (Ed.) Instruments for Climate Policy / Limited versus Unlimited Flexibility. Edward Elgar Publ. Ltd. London. 2002. 208 p.
17. *Alley R.B.* On thickening ice? // Science. 2001. V. 295. N 5554. P. 451–452.
18. *Andronova N.G., Schlesinger M.E.* Objective estimation of the probability density function for climate sensitivity // J. Geophys. Res. D. 2001. V. 106. N 19. P. 22605–22611.
19. *Angell J.K.* Tropospheric temperature variations adjusted for El Niño. 1958–1998 // J. Geophys. Res. D. 2001. V. 105. N 9. P. 11841–11850.
- 19а. *Austin J.* A three-dimensional coupled chemistry-climate model simulation of past stratospheric trends // J. Atmos. Sci. 2002. V. 59. N 2. P. 218–232.
20. *Bergengren J.C., Thomson S.L., Pollard D., Decoto R.M.* Modeling global climate-vegetation interactions in a doubled CO₂ world // Clim. Change. 2001. V. 50. P. 31–75.
- 20а. *Blunier T., Brook E.J.* Timing of millennial-scale change in Antarctica and Greenland during the last Glacial Period // Science. 2001. V. 291. N 5501. P. 109–112.
21. *Bohringer C., Finus M., Vogt C.* (Eds.). Controlling Global Warming. Perspectives from Economics, Game Theory and Public Choice. Edward Elgar Publ., Cheltenham, Glos. U.K. 2002. 304 p.
22. *Bounoua L., Defries R., Collatz G.J., Sellers P., Khan H.* Effects of land cover conversion on surface climate // Clim. Change. 2002. V. 52. N 1–2. P. 29–64.
23. *Briffa K.R., Osborn T.J., Schweingruber F.H., Harris L.C., Jones P.D., Shiyatov S.G., Vaganov E.A.* Low-frequency temperature variations from a northern free ring density network // J. Geophys. Res. D. 2001. V. 106. N 3. P. 2929–2941.
24. *Briffa K.P., Osborn T.J.* Blowing hot and cold // Science. 2002. V. 295. P. 2227–2228.
25. *Broecker W.S.* Converging paths leading to the role of the oceans in climate change // Annual Review of Energy and the Environment. 2000. V. 25. Palo Alto (Calif.). P. 1019–1031.
26. *Cabanes C., Cazenave A., Provost Le C.* Sea level rise during past 40 years determined from satellite and in situ observations // Science. 2001. V. 294. N 5543. P. 840–842.
- 26а. *Chanin M.-L.* Report of the 9th Session of the SPARC Scientific Steering Group // SPARC Newsletter. 2002. N 18. P. 1–6.
27. *Chen J., Carlson B.E., Del Genio A.D.* Evidence for strengthening of tropical general circulation in the 1990s // Science. 2002. V. 295. N 5556. P. 838–846.
28. *Climate Change Science. An Analysis of Some Key Questions.* Washington: National Academy Press. D.C. 2001. 24 p.
29. *Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of WG1 to the Third Assessment Report of the IPCC / Ed. by J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer,*

- P.J. van der Uden, K. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson. Cambridge University Press, 2001. 892 p.
30. *Climate Change 2001. Synthesis Report* / Ed. by R.T. Watson and the Core Writing Team. Cambridge University Press, 2001. 148 p.
- 30a. *Climate Science and Policy: Making the Connection*. The European Science and Environment Forum. George C. Marshall Institute. Washington. D.L. 2001. 44 p.
31. *Commission on Sustainable Development Acting as Preparatory Committee for the World Summit for Sustainable Development*. Fourth Session. Chairman's Text for Negotiation. Advance Unedited Text. New York. N.Y. 9 May 2002. 39 p.
- 31a. *Crowley T.J.* Paleoclimate: Cycles, cycles everywhere // *Science*. 2002. V. 296. N 5559. P. 1473-1474.
32. *Dai A., Meehl G., Washington W.M., Wigley T.M.L., Arblaster J.M.* Ensemble simulation of twenty-first century climate changes: Business-usual versus CO₂ stabilization // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2001. V. 82. N 11. P. 2377-2388.
33. *Datsenko N.M., Shabalova M.V., Sonechkin D.M.* Seasonality of multidecadal and centennial variability in European temperatures: The wavelet approach // *J. Geophys. Res. D*. 2001. V. 106. N 12. P. 12449-12462.
- 33a. *Datsenko N.M., Moberg A., Sonechkin D.M.* Objective time-scale-dependent homogenization of early instrumental temperature series // *Theor. and Appl. Climatology*. 2002. (in print).
336. *Del Genio A.D.* The dust settles on water vapor feedback // *Science*. 2002. V. 296. N 5568. P. 665-666.
34. *Dymnikov V.P., Gritsoun A.S.* Climate model attractors: chaos, quasi-regularity and sensitivity to small perturbations of external forcing // *Nonlinear Process. Geophys.* 2001. V. 8. N 4. P. 201-209.
- 34a. *Ellsaesser H.W.* The current status of global warming // *Energy and Environ.* 2002. V. 13. N 1. P. 125-129.
35. *Esper J., Cook E.R., Schweingruber F.H.* Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability // *Science*. 2002. V. 295. P. 2250-2253.
36. *Feijt A.J., Dihopolsky R., Jonker H. e.a.* Clouds and radiation: intensive observational campaigns in the Netherlands (CLARA). Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change. Report No.:410 200 057. The Netherlands. 2001. 141 p.
37. *Forest C.F., Stone P.H., Sokolov A.P., Allen R.A., Webster M.D.* Quantifying uncertainties in climate system properties with the use of recent climate observations // *Science*. 2002. V. 295. N 5552. P. 113-117.
38. *Frederick K.D.* (Ed.) *Water Resources and Climate Change*. Edward Elgar Publ. Ltd. Cheltenham. U.K. 2002. 528 p.
- 38a. *Gerholm T.R.* *Climate Policy after Kyoto*. Multi-Science Publ. Co. Ltd. Brentwood. U.K. 1999. 170 p.
39. *Chan S.J., Easter R.C., Chapman E.G., Abdul-Razzak H., Zhang Y., Leung L.R., Laulainen N.S., Saylor R.D., Zaveri R.A.* A physically based estimate of radiative forcing by anthropogenic sulfate aerosol // *J. Geophys. Res. D*. 2001. V. 106. N 6. P. 5279-5293.
40. *Ghan S., Easter R., Hudson J., Breon F.-M.* Evaluation of aerosol indirect radiative forcing in MIRAGE // *J. Geophys. Res. D*. 2001. V. 106. N 6. P. 5317-5334.
- 40a. *Gille S.T.* Warming of the Southern ocean since the 1950s // *Science*. 2002. V. 295. N 5558. P. 1275-1277.
41. *Goldewijk K.K.* Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE database // *Global Biogeochemical Cycles*. 2001. V. 15. N 2. P. 417-433.
42. *Goody R.* Climate benchmarks: Data to test climate models // *Исслед. Земли из космоса*. 2001. № 6. С. 87-93.
- 42a. *Gorshkov V.G., Gorshkov V.V., Makarieva A.M.* *Biotic Regulation of the Environment*. Key Issue of Global Change. Springer/PRAXIS, Chichester, U.K. 2000. 367 p.
43. *Greuell W., Denby B.* Ice-sheet mass balance in central West Greenland. Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change. Report No.:410 200 061. The Netherlands. 2001. 20 p.
44. *Grossman D.* Dissent in the maelstrom // *Sci. Amer.* 2001. V. 285. N 5. P. 38-39.
- 44a. *Grbler A., Nakicenovic N.* Identifying dangers in an uncertain climate // *Nature*. (Gr. Brit.). 2001. V. 412. P. 15-19.
45. *Gupta J.* *Our Simmering Planet. What To Do About Global Warming?* London: Zed Books, 2001. 178 p.
46. *Haigh J.D.* Climate variability and the influence of the sun // *Science*. 2001. V. 294. N 5549. P. 2109-2110.
47. *Hansen J., Ruedy R., Sato M., Imhoff M., Lawrence W., Easterling D., Paterson T., Karl T.* A closer look at United States and global surface temperature change // *J. Geophys. Res. D*. 2001. V. 106. N 20. P. 23947-23963.
48. *Hansen J.E., Sato M.* Trends of measured climate forcing agents // *Proc. N.Y. Acad. Sci.* 2001. V. 98. N 26. P. 14778-14783.
49. *Hansen J.E.* A brighter future. A response to Don Wuebbles // *Clim. Change*. V. 52. N 52. P. 435-440.
50. *Hartmann D.L.* Tropical surprises // *Science*. 2002. V. 295. N 5556. P. 811-814.
- 50a. *Hartmann D.L., Michelson M.L.* No evidence for IRIS // *Bull. Amer. Meteorol. Sci.* 2002. V. 83. N 2. P. 249-254.
51. *Harvey L.D.D., Huang Z.* A quasi-one-dimensional coupled climate-carbon cycle model. 1. Description and behavior of the climate component // *J. Geophys. Res. C*. 2001. V. 106. N 10. P. 22339-22353.
52. *Harvey L.D.D.* A quasi-one-dimensional coupled climate-carbon cycle model. 2. The carbon cycle component // *J. Geophys. Res. C*. 2001. V. 106. N 10. P. 22355-22372.
53. *Jacobson M.Z.* Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols // *Nature*. (Gr. Brit.). 2001. V. 409. P. 695-697.
54. *Kabat P., Claussen M., Dirmeyer P.A., Gash J.H.C., de Guenni L.B., Meybeck M., Pielke R.A., Vorosmarty C.J., Hutjes R.W.A., Lutkemeier S.* (Eds.). *Vegetation, Water, Humans and the Climate. A New Perspective of Interactive System*. Heidelberg e.a.: Springer-Verlag, 2002. 550 p.
55. *Keith D.W.* *Geoengineering the climate: History and prospect* // *Annual Review of Energy and Environment*. 2000. V. 25. P. 245-284.
56. *Kidd C.* Satellite rainfall climatology: A review *Int. J. Climatol.* 2001. V. 21. N 9. P. 1041-1066.
- 56a. *Kleidon A.* Testing the effect of life on Earth's functioning: How Gaian is the Earth system? // *Clim. Change*. 2002. V. 52. N 4. P. 383-389.
57. *Kondratyev K.Ya.* *Multidimensional Global Change*. Wiley/PRAXIS, Chichester. U.K. 1998. 761 p.
- 57a. *Kondratyev K.Ya., Cracknell A.P.* *Observing Global Climate Change*. London: Taylor and Francis, 1998. 562 p.
58. *Kondratyev K.Ya.* *Climatic Effects of Aerosols and Clouds*. Springer/PRAXIS. Chichester. U.K. 1999. 264 p.
59. *Kondratyev K.Ya., Varotsos C.A.* *Atmospheric Ozone Variability: Implications for Climate Change, Human*

- Health and Ecosystems. Springer/PRAXIS, Chichester. U.K. 2000.
- 59a. *Krapfenbauer A.* Kyotoprotokoll-verstärkter Treibhauseffekt-Zunahme der Aerosole-Abnahme der Globalstrahlung-schlägt das Pendel in die Gegenrichtung aus? // Forum Ware. 2001. Bd 29. N 1-4. P. 64-71.
60. *Kristjansson J.E., Kristiansen J.* Is there a cosmic ray signal in recent variations in global cloudiness and cloud radiative forcing? // J. Geophys. Res. D. 2001. V. 105. N 9. P. 11851-11864.
- 60a. *Lamy F., Hebbeln D., Rohl U., Wefer G.* Holocene rainfall variability in southern Chile: a marine record of latitudinal shifts of the Southern Westerlies. Earth and Planet // Sci. Lett. 2001. V. 185. N 3. P. 369-382.
61. *Latif M., Grotzner A., Munnich M., Maier-Reimer E., Venzke S., Barnett T.P.* A mechanism for decadal climate variability. Decadal Clim. Variab. Dyn. and Predictable // Proc. NATO Adv. Res. Study Inst. Les Houches. Febr. 13-14. 1995. Berlin etc. 1996. P. 263-292.
62. *Losev J.L.* Solar irradiance and climate forcing in the near future // Geophys. Res. Lett. 2001. V. 28. N 21. P. 4119-4122.
- 62a. *Lenton T.M.* Testing Gaia: The effect of life on Earth's habitability and regulation // Clim. Change. 2002. V. 52. N 4. P. 409-422.
63. *Lockwood J.G.* Abrupt and sudden transitions and fluctuations: A review // Int. J. Climatol. 2001. V. 21. P. 1153-1179.
64. *Lomborg B.* The skeptical Environmentalist. Cambridge University Press, 2001. 515 p.
65. *Lynch D.K., Sassen K., Starr D., Stephens G.* (Eds). CIRRUS. New York: Oxford University Press, 2002. 480 p.
66. *MacCracken M.C.* Do the uncertainty ranges in the IPCC and U.S. National assessments account adequately for possibly overlooked climatic influences? // Clim. Change. 2002. V. 52. N 1-2. P. 13-23.
67. *Mann M.E.* Lessons for a new millennium // Science. 2000. V. 289. P. 253-254.
68. *MacGuffie K., Henderson-Sellers A.* Forty years of numerical climate modeling // Int. J. Climatol. 2001. V. 21. N 9. P. 1067-1110.
69. *Meehl G.A., Boer G.J., Covey C., Latif M., Stouffer R.J.* The Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) // Bull. Amer. National. Soc. 2000. V. 81. N 2. P. 313-318.
70. *Meehl G.A., Washington W.M., Arblaster J.M., Bettge T.W., Strand W.G.Jr.* Anthropogenic forcing and decadal climate variability in sensitivity experiments of twentieth- and twenty first century climate // J. Climate. 2000. V. 13. P. 3728-3744.
71. *Meehl G.A., Lukas R., Kiladis G.N., Weickman K.M., Matthews A.J., Wheeler M.* A conceptual framework for time and space scale interactions in the climate system // Clim. Dyn. 2001. V. 17. P. 753-775.
- 71a. *Meier H.A.J.* The science of greenhouse gases: Uncertainties in sources adsinks, and implications for verification // Energy and Environ. 2001. V. 12. P. 31-42.
72. *Nilsson S., Jonas M., Obersreiner M.* COP-6: A healing shock? An editorial Essey // Clim. Change. 2002. V. 52. N 1-2. P. 25-28.
73. *Ohring G., Gruber A.* Climate monitoring from operational satellites: Accomplishments, problems, and prospects // Adv. Space Res. 2001. V. 28. N 1. P. 207-219.
74. *Opsteegh J.D., Selten F.M., Haarsma R.J.* Climate variability on decadal timescales. Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change. Report No.: 410 200 066. The Netherlands. 2001. 74 p.
75. *PAGES Meeting on High Latitude Paleoenvironments.* Program, Abstracts and Participant list. Moscow, May 16-17. 2002. 44 p.
76. *Pielke R.A., Sr.* Overlooked issues in the U.S. National Climate and IPCC Assessments. An Editorial Essay // Clim. Change. 2002. V. 52. N 1-2. P. 1-11.
- 76a. *Ramaswamy V., Gelman M.E., Schwarzkopf M.D., Lin J.-J.R.* An update of stratospheric temperature trends // SPARC Newsletter. 2002. N 18. P. 7-9.
77. *Reconciling Observations of Global Temperature Change.* Nat. Acad. Press., Washington, O.C. 2000. 85 p.
- 77a. *Reilly J., Stone P.H., Forest C.E., Webster M.D., Jacoby H.D., Prinn R.G.* Uncertainty and climate change assessments // Science. 2001. V. 293. P. 430-433.
- 77b. *Rind D.* The Sun's role in climate variations // Science. 2002. V. 296. N 5568. P. 673-677.
- 77b. *Robock A.* Pinatubo eruption: The climatic aftermath // Science. 2002. V. 295. № 5558. P. 1242-1243.
78. *Roelofs G.J.* Climate consequences of increasing ozone in the troposphere, studied with a coupled chemistry-general circulation model. Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change. Report No.: 410 200 062. The Netherlands. 2001. 70 p
- 78a. *Schneider S.H.* What is «dangerous» climate change? // Nature. (Gr. Brit.). 2001. V. 411. P. 17-19.
- 78b. *Schneider S.H.* Special theme: The Gaia hypothesis // Clim. Change. 2002. V. 52. N 4. P. III.
- 78b. *Schneider S.H.* Can we estimate the likelihood of climatic changes at 2100? An Editorial Comment // Clim. Change. 2002. V. 52. N 4. P. 441-451.
79. *Schulze E.-D. et al.,* Eds. Global Biogeochemical Cycles in the Climate System. New York: Academic Press. N.Y. 2001. 350 p.
80. *Shakleton N.* Climate change across the hemispheres // Science. 2001. V. 291. N 5501. P. 58-59.
81. *Shindell D.T., Schmidt G.A., Miller R.L., Rind D.* Northern Hemisphere winter climate response in greenhouse gas, ozone, solar, and volcanic forcing // J. Geophys. Res. D. 2001. V. 106. N 7. P. 7193-7211.
82. *Singer S.F.* Hot Talk, Cold Science. Independent Institute, Oakland, Calif., 1997. 110 p.
83. *Smith J.B., Lazo J.K.* A summary of climate change impact assessments from the US Country studies program // Clim. Change. 2001. V. 50. N 1-2. P. 1-29.
- 83a. *Soden B.J., Wetherald R.T., Stenchikov G.L., Robock A.* Global cooling after eruption of Mount Pinatubo. A test of climate feedback by water vapor // Science. 2002. V. 296. N 5568. P. 727-730.
84. *Taguchi M., Yamaga T., Yoden S.* Internal variability of the troposphere-stratosphere coupled system simulated in a simple global circulation model // J. Atmos. Sci. 2001. V. 58. N 21. P. 3184-3203.
- 84a. *Tomita T., Wang B., Yasunari T., Nakamura H.* Global patterns of decade-scale variability observed in sea surface temperature and lower tropospheric circulation fields // J. Geophys. Res. D. 2001. V. 106. N 11. P. 26805-26816.
85. *Tsonis A.A., Hunt A.G., Elsner J.B.* On the relation between ENSO and global climate change // Meteorol. and Atmos. Phys. 2003. (submitted).
86. *Uttal T., Curry J.A., McPhee M.G.* Surface heat budget of the Arctic Ocean // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2002. V. 83. N 2. P. 255-275.
87. *Vaughan D.G., Spouge J.R.* Risk estimation of collapses of the West Antarctic ice sheet // Clim. Change. 2002. V. 52. N 1-2. P. 65-91.

88. *Victor D.G.* The Collapse of the Kyoto Protocol and the Struggle to Slow Global Warming. Princeton University Press, 2001. 192 p.
89. *Van Vuuren M.M.I., Kappelle M.* Biodiversity and Global Climate Change. Report No.: 410.200 014. The Netherlands. 1998. 96 p.
- 89a. *White W.B., Allan R.J.* A global quasi-biennial wave in surface temperature and pressure and its decadal modulation from 1900 to 1994 // *J. Geophys. Res. D.* 2001. V. 106. N 11. P. 26789–26804.
90. *Wielicki B.A., Wong T., Allan R.P., Slingo A., Kiehl J.T., Soden B.J., Gordon C.T., Miller A.J., Yang S.-K., Randall D.A., Robertson F., Suskind J., Jacobowitz H.* Evidence for large decadal variability in the tropical mean radiative energy budget // *Science.* 2002. V. 296. N 5556. P. 841–844.
91. *Wigley T.M.L.* The Kyoto Protocol: CO₂, CH₄ and climate implications // *Geophys. Res. Lett.* 1998. V. 25. N 13. P. 2285–2288.
- 91a. *Wigley T.M.L., Raper S.C.B.* Interpretation of high projections for global-mean warming // *Science.* 2001. V. 293. P. 451–454.
- 91b. *Wood E.F.* Detection of climate change: When and where? // *GEWEX News.* 2002. V. 12. N 1. P. 4–6.
92. *Wuebbles D.J.* Oversimplifying the Greenhouse // *Clim. Change.* 2002. V. 52. N 4. P. 431–434.
93. *Ziesing H.-J.* CO₂-Emissionen im Jahre 2001: vom Einsparziel 2005 noch weit entfernt // *Wochenber / Dtsch. Inst. Wirtschaftsforsch.* 2002. Bd 69. N 8. P. 137–143.

K.Ya. Kondratyev. Global climate change: facts, assumption, and future perspectives.

A survey has been made of global climate studies principal results in the context of the IPCC-2001 (Intergovernmental Panel on Climate Change) Report and the U.S. National Academy of Sciences «Climate Change Science» Report. The lack of completeness of these reports which consists in the absence of a discussion of a number of key problems (concept of biotic regulation of the environment, interactive nature of processes in the climatic system, unexpected and strong paleoclimatic changes, role of solar activity etc.) has been illustrated. Some suggestions concerning priorities of future studies of global climate and its changes have been expressed.