

# КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

## ГЛОБАЛЬНЫЙ КЛИМАТ И ПРОТОКОЛ КИОТО

*К.Я. Кондратьев, акад. РАН, Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности*

*К.С. Демирчян, акад. РАН, Объединенный институт высоких температур РАН*

Несомненно, успех Второй конференции ООН по окружающей среде и развитию – КОСР (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) и последовавшей через 5 лет Специальной Сессии Генеральной Ассамблеи ООН «Рио+5» (Нью-Йорк, 1997 г.) заключался в привлечении внимания правительств и общественности к проблемам глобальных изменений и устойчивого развития. К сожалению, эти оба всемирных форума были плохо подготовлены. Пожалуй, главным признаком неудовлетворительной подготовки явился провал попыток разработать «Хартию Земли», призванную сформулировать и обосновать приоритеты. Вместо этого был одобрен очень аморфный и декларативный документ – Декларация Рио.

Три глобальные экологические проблемы обоснованно привлекают в настоящее время общее внимание. Это:

- изменение климата («глобальное потепление»);
- судьба слоя озона;
- замкнутость глобальных биогеохимических круговоротов (концепция биотической регуляции окружающей среды).

Печальный парадокс состоит в том, что, несмотря на убедительно обоснованную в научной литературе первичность третьей из этих проблем и вторичность двух других, документы КОСР отображают отсутствие должного понимания того концептуально важного обстоятельства, что основополагающее значение имеет последовательность событий: социально-экономи-

ческое развитие, стимулируемое ростом численности населения,  $\Rightarrow$  антропогенные воздействия на биосферу  $\Rightarrow$  последствия подобных воздействий для окружающей среды (климат, озон и т. п.).

Результатом такого рода непонимания явилось выдвижение на передний план проблемы «глобального потепления», выразившееся в принятии крайне неудачной, дезориентирующей и несправедливой по отношению к развивающимся странам Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (РКИК), необоснованно сфокусированной на антропогенном происхождении наблюдаемого глобального потепления климата и рекомендуемом (для промышленно развитых стран) сокращении выбросов в атмосферу парниковых газов (прежде всего речь идет об углекислом газе).

В декабре 1997 г. в Киото (Япония) прошла Третья конференция государств-подписантов РКИК (более 160 государств), которая сконцентрировала внимание на долгих и острых дискуссиях о том, можно ли принять требование о сокращении выбросов  $\text{CO}_2$  к 2008–2012 гг. в среднем около 5% (по отношению к выбросам уровня 1990 г.). И это несмотря на всю абсурдность подобной дискуссии и отсутствие в настоящее время каких-либо заметных успехов в сокращении выбросов  $\text{CO}_2$  (глобальные выбросы продолжают и будут расти не только в развивающихся, но и во многих промышленно развитых странах, включая США). Естественно, что позиция развивающихся стран состоит в том,

что их главный приоритет – подъем жизненного уровня людей, а не свертывание промышленности ради сокращения выбросов  $\text{CO}_2$ . Именно последнее является, однако, условием подписания РКИК, выдвинутым США и другими странами «золотого миллиарда». История РКИК – лишь одна из иллюстраций гигантской (главным образом бюрократической) активности, поглощающей ежегодно сотни миллионов долларов (вместо инвестирования их в развитие науки). Следует напомнить, что лишь в Конференции в Киото участвовало около 10 тыс. человек. Весьма многочисленной оказалась и недавняя (ноябрь 2000 г.) Конференция в Гааге.

Можно подумать, что описанная ситуация является следствием неразработанности научных основ проблематики глобальных изменений. Подобный вывод справедлив лишь отчасти, поскольку еще в 1990 г. были опубликованы, например, монографии [3, 6], посвященные обсуждению ключевых аспектов глобальной экологии. В.Г. Горшков [3, 31] выдвинул и обосновал основополагающую концепцию биотической регуляции окружающей среды. К.Я. Кондратьев [6-11, 39-41] продемонстрировал необоснованность «парниковой» гипотезы глобального потепления и привлек внимание к необходимости изучать климатическую систему «атмосфера–океан–суша–ледяной покров–биосфера» с учетом всей сложности обратных связей между ее интерактивными компонентами. Серьезному анализу подверглась проблема глобальной системы наблюдений [6, 8, 14, 39, 45, 60]. Особое место занимает проблема изменчивости атмосферного озона [40].

Ограничиваясь в остальном ссылками на литературу, обратимся к краткому комментарию по поводу проблематики глобальных изменений климата, 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 подтверждают наличия «глобального потепления» (особенно это касается данных наземных наблюдений в США, в Арктике и результатов спутникового дистанционного зондирования);
- 2) если усиление парникового эффекта атмосферы, обусловленное предполагаемым удвоением концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, составляет около  $4 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ , то неопределенности, связанные с учетом климатообразующей роли атмосферного аэрозоля и облаков, а также с введением так называемой потоковой поправки, достигают десятков и даже  $100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ ;
- 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).

В контексте проблематики глобальных изменений вопросы, связанные с оценками происходящих в настоящее время и возможных в будущем изменений глобального климата, занимают несомненно центральное место [1-60]. Хотя до сих пор в этих оценках сохраняется доминирование концепции «глобального потепления», о чем свидетельствует Третий отчет Межправительственной группы экспертов по проблеме изменений климата (МГЭИК) [37], следует думать, что это не более чем инерция развивавшихся ранее спекулятивных представлений, мотивация которых была далекой от науки, что было убедительно проанализировано С. Бомер-Кристиансен [2]. Наглядной иллюстрацией противоречивости оценок, касающихся климата, могут служить радикально противоположные суждения на этот счет, высказанные двумя кандидатами на пост президента США в ходе предвыборной кампании [28]. Если А. Гор давно известен как горячий сторонник концепции глобального потепления и Протокола Киото, то мнение Д. Буша характеризуется следующими суждениями: «Я возражаю против (экологической) политики, соответствующей Протоколу Киото, которая привела бы к радикальному повышению цен на бензин, нефтепродукты для отопления жилых домов, природный газ и электричество. Такого рода соглашение сильно повысило бы нагрузку на экономику США, не обеспечивая защиты от нежелательных изменений климата. Протокол Киото неэффективен, неадекватен и несправедлив по отношению к Америке, поскольку он исключает 80% мира из участия в выполнении рекомендаций Протокола, включая такие основные центры концентрации населения, как Китай и Индия». Согласно позиции Д. Буша, главное значение имеют разработка новых экологически чистых технологий и использование рыночных механизмов, включая свободу регулирования рынков электричества и природного газа, налогообложения, а также торговли выбросами. (Д. Буш полагает, что природный газ и атомная энергия будут играть важную роль в снижении опасной зависимости США от иностранной нефти и обеспечении энергоресурсов страны в XXI в.). Соглашаясь с радикальной критикой Протокола Киото (ПК), заметим, однако, что суждения Д. Буша о рыночных механизмах либо специфичны для США, либо (в случае торговли выбросами) являются спорными.

Еще более убедительной иллюстрацией не состоятельности ПК является неудача Шестой конференции (COP-6) представителей государств, подписавших РКИК, состоявшейся 13-24 ноября 2000 г. в Гааге (7000 участников этой Конференции представляли 182 правительства, 323 межправительственные и неправительственные организации и 443 средства массовой информации). Член конгресса США Д. Бартон (рес-

публиканец из штата Техас) заявил, что если Д. Буш победит на выборах (что, как известно, произошло), то он будет рекомендовать ему, чтобы США отказались от Протокола Киото и начали переговоры с целью освобождения экономики от необоснованных экологических ограничений, поскольку «то, что мы видим здесь (на COP-6), представляет собой в высшей степени бесполезное упражнение или, в лучшем случае, упражнение в фантазировании, а поэтому ничто, обсуждавшееся в течение этой недели, не должно найти поддержки голосованием в положительном смысле».

Интересно в этой связи, что если исполнительный директор Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), бывший министр ФРГ по окружающей среде К. Топфер отверг предложение рассматривать атомную энергию как важную перспективу для энергетики будущего, то представители США и Японии заявили в Гааге, что они готовы были бы поддержать финансирование проектов по атомной энергетике в развивающихся странах, имея в виду снижение выбросов углекислого газа в атмосферу.

Важной особенностью дискуссий в Гааге была определенная конфронтация между США и странами Европейского союза, которые отклонили американское предложение о сбалансировании баланса углерода путем использования различных возможностей (включая меры по восстановлению лесов как стока углерода) и потребовали от США подчинения общим рекомендациям об уменьшении выбросов углекислого газа в атмосферу.

Главное в проблеме изменений глобального климата состоит в том, что, хотя факт потепления глобального климата в XX в. не вызывает сомнений (особенно это относится к последней четверти века), причины потепления (в частности 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. В этой связи симптоматично, что авторы МГЭИК-2001 отказались от определения понятия «изменения климата», принятого в РКИК как обусловленного лишь антропогенными факторами, и согласовали адекватное определение с учетом как природных, так и антропогенных причин изменения климата. Следует к этому добавить, что нельзя забывать и традиционного определения климата как явления, характеризующегося значениями его параметров, осредненными за 30 лет. Обратимся теперь к краткому обзору данных наблюдений, опираясь главным образом на Третий отчет МГЭИК [37].

#### **Данные наблюдений за параметрами климата**

1. *Температура воздуха.* Согласно данным наблюдений приземной температуры воздуха (ПТВ) за период с 1860 г., её среднегодовое среднеглобальное значение повысилось на

$0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ . Это примерно на  $0,15^\circ\text{C}$  превосходит значение, приведенное в Отчете МГЭИК-1996 (см. [8]), что обусловлено относительно высоким уровнем ПТВ в 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: 1910–1945 гг. и с 1976 г. по настоящее время. Из новых данных по диагностике глобального климата следует, что потепление климата в Северном полушарии в XX в. было, по-видимому, самым сильным за последнюю 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 суше 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 не упомянуто о предполагавшемся ранее усилении потепления климата в высоких широтах Северного полушария как характерном признаке 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 усиления потепления не наблюдалось, а изменения климата как последнего столетия, так и последнего десятилетия характеризовались сильной пространственно-временной неоднородностью: в Арктике одновременно формировались регионы потепления и похолодания климата.

По данным сети аэрологических наблюдений (начиная с 1950-х гг., когда эта сеть стала более или менее адекватной), тренды среднеглобальной ПТВ и температуры нижней тропосферы были почти одинаковыми (около  $0,10^\circ\text{C}/10$  лет) [19–21]. Согласно данным спутникового СВЧ-дистанционного зондирования (начиная с 1979 г.), имело место повышение среднеглобальной температуры нижней тропосферы, составившее около  $0,06^\circ\text{C}/10$  лет и значительно уступающее росту ПТВ (примерно  $0,15^\circ\text{C}/10$  лет). Подобное различие потепления проявилось главным образом в регионах океанов в тропиках и субтропиках, а причины различия остаются неясными [25].

2. *Протяженность снежного и ледяного покровов.* Начиная с конца 1960-х 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, тогда как в неполярных регионах происходило отступление горных

ледников. Протяженность морского ледяного покрова в Северном полушарии весной и летом уменьшилась начиная с 1950-х 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.

3. *Уровень поверхности и теплосодержание верхнего слоя океана.* За XX столетие произошел подъем уровня Мирового океана в пределах 0,1–0,2 м, причиной которого было, вероятно, отчасти тепловое расширение морских вод и таяние 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 измерения температуры поверхности океана) произошло увеличение теплосодержания верхнего слоя океана.

4. *Другие параметры климата.* 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 ПТВ 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 каких-либо трендах [9].

5. *Концентрация парниковых газов и антропогенного аэрозоля в атмосфере.* За период с 1750 г. по настоящее время концентрация углекислого газа 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 [37]. Примерно на две трети рост концентрации  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  в США на 12% превысили уровень 1990 г., а их дальнейшее возрастание должно увеличить эту цифру еще на 10% к 2008 г. [56]. Между тем, согласно Протоколу Киото, выбросы должны быть уменьшены к 2008 г. на 7% по отношению к уровню 1990 г., что требует суммарного сокращения выбросов около 25% (разумеется, это совершенно неосуществимо).

Согласно имеющимся данным наблюдений, в настоящее время как Мировой океан, так и суша являются глобальными стоками  $\text{CO}_2$ . Причем в океане это обусловлено химическими и биологическими процессами, тогда как на суше связано с усилением «фертилизации» растительности за счет возрастающей концентрации  $\text{CO}_2$  и азота, а также с изменениями землепользования.

Не вызывает сомнений, что главным фактором роста концентрации  $\text{CO}_2$  в XXI в. останется сжигание ископаемых топлив. Роль биосферы (и океана, и суши) как барьера для роста концентрации будет со временем ослабляться. Согласно МГЭИК-2001, вероятный интервал значений концентрации  $\text{CO}_2$  к концу столетия составит 540–970 млн.<sup>-1</sup> (доиндустриальное и современное значения равны, соответственно 280 млн.<sup>-1</sup> и 367 млн.<sup>-1</sup>). Важным фактором глобального круговорота углерода являются изменения землепользования [36], но даже если весь углерод, выброшенный в атмосферу за счет землепользования, будет усвоен биосферой суши, то это приведет лишь к уменьшению концентрации  $\text{CO}_2$  в пределах 40–70 млн.<sup>-1</sup>. Что касается прогностических оценок концентрации других ПГ к 2001 г., то они изменяются в очень широких пределах. Так, например, из некоторых оценок следует, что роль тропосферного озона, как парникового газа, может сравняться с вкладом метана и окажется существенной, как и фактор снижения качества воздуха на большей части Северного полушария.

Концентрация метана в атмосфере возросла по сравнению с наблюдавшейся, по косвенным данным, с 1750 г. в 2,5 раза и продолжает увеличиваться. Ежегодные темпы возрастания концентрации  $\text{CH}_4$  замедлились и стали более изменчивыми в 1990-е гг. по сравнению с 1980-ми 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 возрастали медленнее, чем раньше, либо начали убывать. Однако начался быстрый рост концентрации их заменителей и некоторых других синтетических соединений, например перфторуглеродных соединений и шестифтористой серы.



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  $2,42 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ , при следующих вкладах различных МГК:  $\text{CO}_2$  ( $1,46 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ ),  $\text{CH}_4$  ( $0,48 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ ), галогенуглеродные соединения ( $0,33 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ ),  $\text{N}_2\text{O}$  ( $0,15 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ ). Наблюдавшееся за последние два десятилетия уменьшение общего содержания озона могло привести к отрицательному РВВ, составляющему  $0,15 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ , 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  $0,35 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ .

Со времени Отчета МГЭИК-1996 существенно изменились оценки РВВ, обусловленного не только чисто рассеивающим сульфатным аэрозолем, но и другими видами аэрозоля, особенно углеродного (сажевого), характеризованного 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 [39]. Результаты новых расчетов Д. Хансена и др. [33] радикально изменили представление о роли различных факторов формирования РВВ. Согласно этим расчетам, 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.

Климатообразующим фактором, требующим учета, 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 воздействий солнечной активности на климат [32, 39].

#### **Результаты численного моделирования климата и их достоверность**

Проблема численного моделирования была недавно детально проанализирована, в частности, в работах [8, 10, 12, 13, 16, 22, 26, 39, 47, 51, 59]. Ограничимся поэтому лишь краткими комментариями. Несомненны достигнутые за последние годы значительные успехи в разработке более полных, чем ранее, численных моде-

лей климата с учетом (как правило, интерактивным) всех компонентов климатической системы «атмосфера–гидросфера–криосфера–биосфера». Приобретает, например, черты реальности интерактивное описание глобального круговорота углерода в рамках теории климата. 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.

Неубедительны, например, выводы, касающиеся векового хода среднегодовой среднеглобальной ПТВ за последние полтора столетия. Если, согласно Отчету МГЭИК-1996, имеет место хорошее согласие наблюдаемого и рассчитанного (с учетом роста концентрации  $\text{CO}_2$  и сульфатного аэрозоля) хода ПТВ, то, следуя определенному сценарию [33], 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 практически содержательное сравнение теории с наблюдениями должно заключать в себе рассмотрение региональных изменений климата (не ограничиваясь ПТВ), и не только средних значений параметров климата, но и их изменчивости, характеризующейся моментами более высокого порядка.

В Отчете МГЭИК-1996 содержится вызвавший острую дискуссию вывод: «баланс имеющихся данных предполагает наличие различного влияния человека на глобальный климат» [39], а также утверждение, что «антропогенный сигнал» уже проявляется на фоне природно обусловленной изменчивости климата. Согласно Отчету МГЭИК-2001 [37], «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 зре-

ния 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. Безусловно, ведущую роль в обосновании прогнозов климата будущего должны играть интегральные модели, описывающие динамику взаимодействия социально-экономического развития и природы [55, 56]. 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.

По новым данным для разнообразных сценариев роста концентрации ПГ и аэрозоля, среднеглобальная среднегодовая ПТВ должна повыситься за период 1990–2100 гг. в пределах 1,5–6,0°C [37], тогда как, согласно МГЭ-ИК-1996, подобный интервал составлял 1–3,5°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, то есть не заслуживают доверия. Возможно, однако, считать достоверным вывод о том, что потепление почти 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 Южной Америки зимой потепление должно быть слабее среднеглобального. Численное моделирование свидетельствует о предстоящем повышении влагосодержания атмосферы и усилении осадков. В частности, возможно усиление 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 как усиления, так и ослабления осадков (в зависимости от выбора сценариев выбросов МГК). В связи с большим интересом к возможным экстремальным событиям, в Отчете [37] содержатся соответствующие прогностические оценки, сопоставленные с данными современных наблюдений (см. таблицу).

#### **Наблюдаемые и прогнозируемые аномальные изменения погоды и климата**

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

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 океане 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 в XXI в. (за исключением ледовых щитов Гренландии и Антарктики, включая Западную Антарктику). 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.

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

- предполагаемая стабилизация уровня концентрации  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$ , ввиду гигантской инерции океана;
- реакция ледовых щитов на происшедшие ранее изменения климата способна продолжаться в течение тысячелетий после стабилизации климата. Согласно модельным расчетам, поддержание на протяжении тысячелетий локального среднегодового потепления более  $3^\circ\text{C}$  способно привести к полному таянию ледникового щита Гренландии. При локальном потеплении, составляющем  $5,5^\circ\text{C}$ , 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. Эти вопросы детально обсуждены, например, в работах [7, 8, 13, 16, 22, 39, 45, 47, 51, 54, 59]. Согласно МГЭИК-2001, разработки в следующих семи направлениях следует рассматривать как приоритетные:

- прекращение дальнейшей деградации сети обычных метеорологических наблюдений;
- продолжение исследований в области диагностики глобального климата с целью получения 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;
- разработка 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.

### Заключение

Иллюстрацией исключительной сложности понимания закономерностей современной динамики климатической системы и оценки возможных изменений климата в будущем является сохраняющееся до сих пор отсутствие достоверных количественных оценок вклада антропогенных факторов в формирование климата. При этом бесспорно понимание 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 климата и палеодинамики климата (по косвенным данным). Что касается использования данных современных наблюдений, то ситуация является довольно парадоксальной: опыт проверки адекватности почти ограничивается использованием осредненных значений температуры при очевидной необходимости использования разнообразной информации и моментов более высокого порядка. Р. Гуди [30] справедливо привлек, например, внимание к перспективности использования данных спутниковых наблюдений спектрального распределения уходящей длинноволновой радиации. Подобный подход был реализован в работе [27]. К сожалению, до сих пор не получила должного признания проблема адекватного планирования систем наблюдений климата [39]. Современная парадоксальная ситуация характеризуется тем, что гигантская избыточность несистематизированных данных спутниковых наблюдений сочетается с уже упоминавшейся деградацией обычных (прямых) наблюдений.

Палеоданные свидетельствуют о наблюдавшихся в геологическом прошлом сильнейших и иногда очень быстрых изменениях климата. К. Алверсон и др. [17, 18] 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. Как справедливо подчеркнули К. Алверсон и Ф. Олдфилд [17], 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, 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 [17].

Что касается прогнозов климата и содержащихся в Киотском Протоколе рекомендаций о сокращении выбросов ПГ в атмосферу, то ясно, что первые можно интерпретировать как условные сценарии и, соответственно, вторые следует рассматривать как рекомендации, лишенные реальных оснований. Таким образом, существует острая необходимость в течение ближайших одного-полутора лет (до «Рио+10» – Третьей конференции ООН по окружающей среде и развитию, намеченной на 2002 г.) провести ревизию Рамочной Конвенции об изменении

климата и отказаться от необоснованных, нерелевантных и опасных для социально-экономического развития рекомендаций, содержащихся в Киотском Протоколе. Полный провал состоявшейся в ноябре 2000 г. Шестой конференции представителей стран, подписавших РКИК, свидетельствует о бесплодности этих дорогостоящих 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 по-прежнему возрастают (и этот процесс будет продолжаться, в частности, в США), а все рассуждения относительно важности «гибких рыночных механизмов» («торговля выбросами» и т.п.) целиком принадлежат к сфере риторики.

М. Сорос [49] уместно напомнил, что в настоящее время выбросы  $\text{CO}_2$  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-е 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  $\text{CO}_2$ , наблюдавшийся в Германии и Великобритании, не имеет никакого отношения к рекомендациям Протокола Киото). М. Сорос справедливо выразил опасения по поводу потери доверия к Протоколу и очевидного отсутствия перспективы его ратификации ведущими индустриальными странами.

Как обоснованно заметил Р. Тол [55], «мы не должны заблуждаться относительно того, что мир без ископаемых топлив будет раем. Хотя возобновимые источники энергии выглядят привлекательно в малых масштабах, их крупномасштабные перспективы не ясны. 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». Решение подобной задачи требует беспрецедентных кооперативных усилий специалистов в областях естествознания и наук об обществе.

### Литература

1. Адаменко В.Н., Кондратьев К.Я. Глобальные изменения климата и их эмпирическая диагностика // Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия / Под ред. Ю.А. Израэля, Г.В. Калабина и В.В. Никонова. – Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1999. С. 17-34.
2. Бомер-Кристиансен С. Кто и каким образом определяет политику, касающуюся изменений климата? // Изв. РГО. 2000. Т. 132. Вып. 3. С. 6-22.
3. Горшков В.Г. Энергетика биосферы и устойчивость окружающей среды // Итоги науки и техники. Теорет. и общие вопросы географии. Т. 7. – М.: ВИНТИ, 1990.
4. Демирчян К.С., Кондратьев К.Я. Научная обоснованность прогнозов влияния энергетики на климат // Изв. РАН. Энергетика. 1999. № 6. С. 3-46.



5. Исидоров В.А., Кондратьев К.Я. Биогенные выбросы малых газовых компонентов на поверхности суши // Экологическая химия. 2001. № 1.
6. Кондратьев К.Я. Ключевые проблемы глобальной экологии // Итоги науки и техники. Теорет. и общие вопросы географии. Т. 9. – М.: ВИНТИ, 1990.
7. Кондратьев К.Я. Глобальный климат. – СПб.: Наука, 1992.
8. Кондратьев К.Я. Экодинамика и геополитика. Глобальные проблемы. – СПб.: НИЦ РАН, 1999.
9. Кондратьев К.Я., Григорьев А.А. Природные и антропогенные экологические катастрофы: метеорологические бедствия и катастрофы // Исслед. Земли из космоса. 2000. № 4. С. 3-19.
10. Кондратьев К.Я., Демирчян К.С. Глобальные изменения климата и круговорот углерода // Изв. РГО. 2000. Т. 132. Вып. 4. С. 1-20.
11. Кондратьев К.Я. Глобальные изменения на рубеже тысячелетия // Вестник РАН. 2000. Т. 70. № 9. С. 788-796.
12. Мохов И.И., Елисеев А.В., Хандорф Д. и др. Северо-Атлантическое колебание: диагноз и моделирование десятилетней изменчивости и ее долгосрочной эволюции // Физика атмосф. и океана. 2000. Т. 36. № 5. С. 605-616.
13. Сун В., Кондратьев К.Я., Балюнас С. и др. Численное моделирование влияния антропогенных выбросов CO<sub>2</sub> на климат: нерешенные проблемы // Изв. РГО. 2001. Т. 133. Вып. 2.
14. Adequacy of Climate Observing Systems. National Academy Press. Washington, D.C., 1999.
15. A Guide to Global Warming. Questions and Answers on Climate Change / George C. Marshall Institute. – Washington, D.C., 2000.
16. Allen M.R., Stott P.A., Mitchell J.F.B. and others. Uncertainty in forecasts of anthropogenic climate change. RAL Techn. Rept., 1999.
17. Alverson K., Oldfield F. Abrupt climate change // PAGES Newsletter. 2000. Vol. 8. № 1. P. 7-10.
18. Alverson K., Oldfield F., Bradley R.S. (eds.) Past Global Changes and Their Significance for the Future. – London: Pergamon Press, 2000.
19. Angell J.K. Comparison of surface and tropospheric temperature trends estimated from a 63-station radiosonde network, 1958-1968 // Geophys. Res. Lett. 1999. Vol. 26. № 17. P. 2761-2764.
20. Angell J.K. Tropospheric temperature variations adjusted for El Nino, 1958-1998 // J. Geophys. Res. 2000. Vol. 105. № D 9. P. 11841-11849.
21. Angell J.K. Difference in radiosonde temperature trends for the period 1979-1998 of MSU data and the period 1959-1998 twice as long // Geophys. Res. Lett. 2000. Vol. 27. № 15. P. 2177-2180.
22. Bengtsson L. Climate modelling and prediction – achievements and challenges // WCRP/ WMO Publ. 1999. № 954. P. 59-73.
23. Blackmon M., Boville B., Bryan F. and others, with contributions from J. Fain, NSF and CCSM Working Group Co-Chairs. Community Climate System Model Plan 2000-2005. UCAR, Boulder, CO, June 2000.
24. Christianson G.E. Greenhouse: The 200-Year Story of Global Warming. Walker and Co., New York, N.Y., 1999.
25. Christy J.R., Spencer R.W., Lobl E.S. Analysis of the merging procedure for the MSU daily temperature time series // J. Climate. 1998. Vol. 11. P. 2016-2041.
26. Crowley T.J. Causes of climate change over the past 1000 years // Science. 2000. Vol. 289. № 5477. P. 270-277.
27. English S.J., Renshaw R.J., Dibben P.C. and others. A comparison of the impact of TOVS and ATOVS satellite sounding data on the accuracy of numerical weather forecasts // Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 2000. Vol. 126. № 569. P. 2911-2932.
28. From the Candidates. Gore and Bush address key environmental and energy issues. Resources. Fall 2000. Issue 141. Washington, D.C., 2000. P. 5-8.
29. Gerholm T.R. Climate policy after Kyoto. Multi-Science Publ. Co.Ltd, Brentwood, U.K., 1999.
30. Goody R. Climate benchmarks: Data to test climate models // Исслед. Земли из космоса. 2001. Вып. 2.
31. Gorshkov V.G., Gorshkov V.V., Makarieva A.M. Biotic Regulation of the Environment. Key Issues of Global Change. Springer/Praxis. Chichester, U. K., 2000.
32. Haigh J.D. Solar variability and climate // Weather. 2000. Vol. 55. № 11. P. 399-407.
33. Hansen J., Sato M., Ruedy R. and others. Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario // Proc. U.S. Nat. Acad. Sci. 2000. Vol. 97. № 18. P. 9875-9880.
34. Huber B.T., MacLeod K.G., Wing S.L. Warm climates in earth history. – Cambridge: University Press, 1999.
35. Hulme M., Barrow E.M., Arnell N.W. and others. Relative impacts of human-induced climate change and natural variability // Nature. 1999. Vol. 397. P. 688-691.
36. IPCC Special Report «Land-Use Change, and Forestry» / Ed. by R.T. Watson et al. – Cambridge: University Press, 2000.
37. IPCC Third Assessment Report. Vol.1. Cambridge: University Press. 2001.
38. Kerr R.A. Can the Kyoto climate treaty be saved from itself // Science. 2000. Vol. 290. № 5493. P. 920-921.
39. Kondratyev K.Ya. Multidimensional Global Change. Wiley/Praxis. Chichester, U.K., 1998.
40. Kondratyev K.Ya., Varotsos C.A. Atmospheric Ozone Variability: Implications for Climate Change, Human Health, and Ecosystems. Springer/Praxis. Chichester, U.K., 2000.
41. Kondratyev K.Ya. Key issues of global change at the end of the second millenium // EOLSS Vorrunner volume, 2001.
42. Kukla G. The last interglacial // Science. 2000. Vol. 287. P. 987-988.
43. Pengracz R., Bartholy J. Statistical linkages between ENSO, NAO, and regional climate // IdoJaras, 2000. Vol. 104. № 1. P. 1-20.
44. Prinn R., Jacoby H., Sokolov A. and others. Integrated Global System Model for climate policy assessment: Feedbacks and sensitivity studies // Dim. Change, 1999. Vol. 41. № 3-4. P. 469-546.
45. Reconciling Observations of Global Temperature Change. – Washington: Nat. Acad. Press, D.C., 2000.
46. Shackley S., Young P., Parkinson S., Wynne B. Uncertainty complexity and concepts of good science in climate change modelling: are GCMs the best tools? // Dim. Change. 1998. Vol. 38. № 2. P. 159-205.
47. Singer S. F. Human contribution to climate change remains questionable / EOS. 1999. Vol. 80. № 16. P.183, 186-187.
48. Smith S.J., Wigley T.M.L., Edmonds J. A new route toward limiting climate change? // Science. 2000. Vol. 290. № 5494. P. 1109-1110.
49. Soros M.S. Preserving the atmosphere as a global commons. Environ. Change and Security Project Report, The Woodrow Wilson Center. – Washington, D.C., 2000. № 6. P. 149-155.
50. Tett S.F.B., Jones G.S., Stott P.A. and others. Estimation of natural and anthropogenic contributions to 20th century temperature change. Programme and Abstracts of the SOLSPA conference. Santa Cruz de Tenerife, Spain, 25-30 September. – Tenerife, 2000. P. 70.
51. The Atmospheric Sciences Entering the Twenty-First Century. National Academy of Sciences.– Washington, D.C., 1998.
52. The Greenhouse Effect and Climate Change. A briefing from the Hadley Centre. The Met. Office, Bracknell, U.K., 1999.
53. The Kyoto Protocol to the Convention on Climate Change // Climate Change Secretariat. – Bonn, 1998.
54. The World Meteorological Organization in the Service of Humankind: A vision for the 21st Century // WMO Bull. 2000. Vol. 49. № 1. P.13-16.
55. Tol R.S.J. International climate policy: An assessment // IHDP Update. 2000. № 3. P. 11-12.
56. Victor D.G. The Collapse, of the Kyoto Protocol and the Struggle to Slow Global Warming. – Princeton: University Press, 2001.
57. Weyant J. The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation // Energy Journal Special Issue. June 1999.
58. Wilson R.C., Dury S.A., Chapman J.L. The Great Ice Age: Climate change and life Routledge. – London, 2000.
59. Woodcock A. Global warming – a natural event? // Weather. 1999. Vol. 54. №5. P.162-163.
60. World Climate Programme // WMO Bull. 2000. Vol. 49. №1. P. 29-32.