

## ОХРАНА ТРУДА. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 504.054; 504.064

С. Д. Галюжин, канд. техн. наук, доц., А. С. Галюжин, О. М. Лобикова

### ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Проведен анализ процессов, вызывающих нарастание парникового эффекта в биосфере нашей планеты. Показано, что в последние 150 лет наблюдается неуклонный рост содержания углекислого газа в атмосфере Земли и рост среднегодовой глобальной температуры приземных слоев атмосферы. Отмечено, что потепление климата планеты может привести к существенному подъему уровня Мирового океана и затоплению значительных площадей суши.

В результате деятельности человека за последние два века в биосфере Земли произошли и продолжают происходить существенные изменения, как правило, негативного характера. К ним относятся изменение климата в сторону потепления, разрушение озонового слоя, выпадение кислотных дождей, уменьшение биологического разнообразия флоры и фауны. Поэтому в мировом сообществе нарастает тревога за будущее цивилизации, предпринимаются активные попытки ограничения вредных выбросов. В этой связи в 1997 г. в японском городе Киото было подписано соглашение об уменьшении объема выбросов загрязнителей на 5,5 % по сравнению с показателями 1990 г., которое до сих пор не ратифицировано многими странами, в том числе и США.

Потепление климата большинство ученых климатологов связывает с парниковым эффектом (англ. «эффект гринхауз»). Более двух столетий человечество использует эффект повышения температуры в стеклянных парниках (теплицах, оранжереях). Сущность этого эффекта в следующем. Стекло, а в последние годы и используемая для этих целей полиэтиленовая пленка, свободно про-

пускают солнечные лучи в области видимой и ультрафиолетовой части спектра, но задерживают инфракрасные излучения с поверхности почвы парника. Этим достигается повышение температуры в парнике по сравнению с температурой окружающей среды.

**Парниковый эффект в атмосфере Земли** – это геофизическое явление, выражающееся в способности некоторых газов, называемых парниковыми, и водяного пара поглощать инфракрасное излучение (ИК-излучение).

ИК-излучение, поглощаемое парниковыми газами, делится на первичное и вторичное. **Первичное ИК-излучение** поступает в атмосферу Земли от Солнца. Около 47 % солнечной энергии поступает к нам в диапазоне видимого света, около 9 % – в диапазоне ультрафиолетового излучения, остальная часть – это инфракрасное излучение [1, с. 65–68].

Плотность потока солнечной энергии, поступающей к верхней границе атмосферы в виде электромагнитных колебаний, примерно равна  $1,367 \cdot 10^3$  Дж/(м<sup>2</sup>·с) и называется **солнечной постоянной**. Годовые колебания величины солнечной постоянной, зависящие от изменения расстояния от Земли до Солнца, не-

велики и составляют  $\pm 3,3$  %. Часть солнечного излучения отражается, рассеивается и уходит в космос. Отношение уходящей в космос отраженной и рассеянной солнечной радиации к общему количеству солнечной радиации, поступающей к верхней границе атмосферы, называется *альбедо Земли*. В целом альбедо Земли оценивается в 30 %, т. е. 30 % прямого солнечного излучения уходит обратно в космическое пространство (примерно 21,3 % – излучение, отраженное от поверхности Земли и облаков, 8,7 % – рассеянная радиация в атмосфере).

Земной поверхности достигает чуть более 38 % солнечной энергии (34 % идет на нагрев почвы и воды, а также превращается в химическую энергию в процессе фотосинтеза, 4 % отражается и уходит в мировое пространство).

Итак, с верхней границы атмосферы обратно в космическое пространство уходит 30 % поступающей от Солнца энергии, а почти 70 % расходуется на нагрев воздуха, почвы и воды, т. е. преобразуется в тепловую энергию. Как известно, нагретые тела являются источником инфракрасного излучения, которое через некоторое время покидает пределы атмосферы и уходит в космос. *Длинноволновое излучение (ИК-излучение) земной поверхности и атмосферы, уходящее в космос, называется уходящей радиацией* [1, с. 168–173]. Это и есть *вторичное ИК-излучение*.

Таким образом, примерно 34 % солнечной энергии, поступающей к верхней границе атмосферы Земли, поглощается поверхностью суши и океана, которые разогреваются и генерируют ИК-излучение. Большая часть этого излучения поглощается водяными парами и некоторыми парниковыми газами, а остальная – уходит в космос (рис. 1). К парниковым газам относят углекислый газ  $\text{CO}_2$ , метан  $\text{CH}_4$ , оксиды азота  $\text{NO}_x$ , тропосферный озон  $\text{O}_3$  и хлорфторуглероды (фреоны).

Из-за наличия атмосферы, которая обеспечивает парниковый эффект, на нашей планете среднегодовая температура приземного слоя воздуха составляет примерно  $14,6$  °С. По данным К. Я. Кондратьева, из-за парникового эффекта приращение температуры в приземном слое составляет  $\Delta T = 33,2$  °С со следующими вкладами газовых компонентов: пары  $\text{H}_2\text{O}$  –  $20,6$  °С (62,05 %),  $\text{CO}_2$  –  $7,2$  °С (21,7 %),  $\text{N}_2\text{O}$  –  $1,4$  °С (4,22 %),  $\text{CH}_4$  –  $0,8$  °С (2,41 %),  $\text{O}_3$  –  $2,4$  °С (7,21 %),  $\text{NH}_4$  + фреоны +  $\text{CCl}_4$  +  $\text{CF}_4$  +  $\text{O}_2$  +  $\text{N}_2$  –  $0,8$  °С (2,41 %) [2].

Итак, вклад углекислого газа в создание парникового эффекта достаточно весом – более 20 %. Поэтому даже несложные расчеты показывают, что повышение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере на 20 % при неизменной концентрации других парниковых газов способно привести к повышению среднегодовой глобальной температуры до  $1$  °С. Такие выводы подтверждены российскими и французскими учеными, которые провели анализы пузырьков воздуха ледяных кернов со станции Восток (Антарктида), имеющих возраст около 160 тыс. лет [3]. Была установлена достаточно тесная корреляция между среднегодовой температурой воздуха и концентрацией  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Так, в период минимума температуры в ледниковый период концентрация этих газов была  $0,018 \dots 0,02$  и  $3,5 \cdot 10^{-5}$  % соответственно. Для теплых периодов содержание  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  примерно составляло  $0,028 \dots 0,03$  и  $7 \cdot 10^{-5}$  % соответственно.

Вместе с тем причинно-следственная связь при этом достаточно четко не установлена. Исследование изменений среднегодовой температуры в Северном полушарии за последние 11 тыс. лет показало, что повышение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере может как предшествовать росту температуры ( $\approx 2700$  г. до н. э.), так и отставать от него ( $\approx 1200$  г.) [4]. Это говорит о многообразии факторов, влияющих на темпе-

ратуру в приземном слое атмосферы. Так, тропосферные сульфатные аэрозоли приводят к понижению температуры.

В соответствии с расчетами, выполненными под руководством М. И. Будыко [5], содержание углекислого газа в атмосфере на протяжении последних 570 млн лет из-за активной вулканической деятельности неоднократно резко

изменялось. В отдельные периоды процентное содержание  $\text{CO}_2$  в воздухе возрастало до нескольких десятых процента, а в конце мелового периода – до 0,5 %. Это сопровождалось усилением парникового эффекта, повышением среднегодовой глобальной температуры и повышением влажности атмосферы.

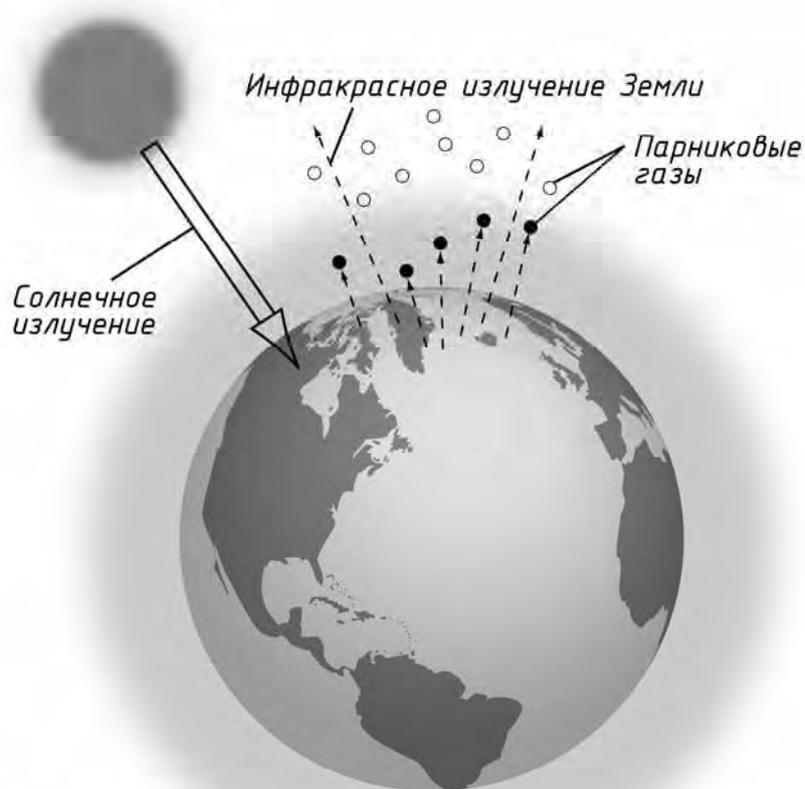


Рис. 1. Упрощенная схема парникового эффекта:  $\circ, \bullet$  – молекулы парникового газа до и после поглощения инфракрасного излучения Земли соответственно

Эти изменения содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере имели естественное происхождение. В течение XIX и XX вв. начался новый геодинамический процесс – процесс, при котором антропогенное влияние на состав атмосферного воздуха стало определяющим. В настоящее время

в год сжигается не менее 6 млрд т каменного и бурого угля, более 5 млрд т нефти, кроме того, в достаточно больших количествах сжигаются природный газ, горючий сланец, торф и дрова. При этом практически весь углерод, содержащийся в топливе, соединяется с ки-

слородом и образуется углекислый газ и, в значительно меньших количествах, угарный газ CO.

В период с 1 июля 1957 г. по 31 декабря 1958 г. был объявлен первый Международный геофизический год, в течение которого 67 стран на нашей планете проводили геофизические наблюдения и исследования по единой программе и методике. Тогда среднее глобальное содержание CO<sub>2</sub> составляло почти 0,03 % [6]. В настоящее время оно выросло до 0,037 %, т. е. рост составил более 23 %.

Экспериментальные исследования состава воздуха тропосферы в центральной части Евразии (район озера Иссык-Куль) показали неуклонный рост содержания в нем CO<sub>2</sub> (рис. 2). Так, за последние 20 лет прошлого столетия рост CO<sub>2</sub> в этом районе составил более 13 % [7, с. 27–28]. По данным Всемирной метеорологической организации (ВМО), примерно такими же темпами растет и средняя глобальная концентрация CO<sub>2</sub> (рис. 3, а).

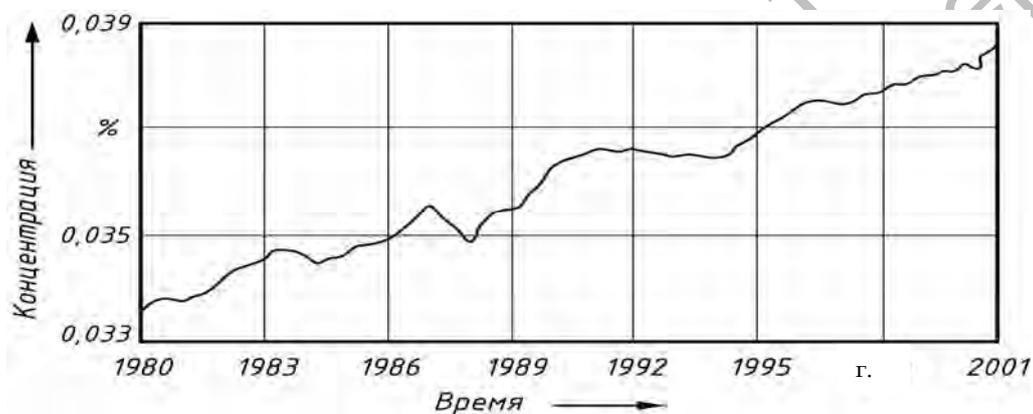


Рис. 2. Изменение содержания CO<sub>2</sub> в приземном слое воздуха центральной части Евразии

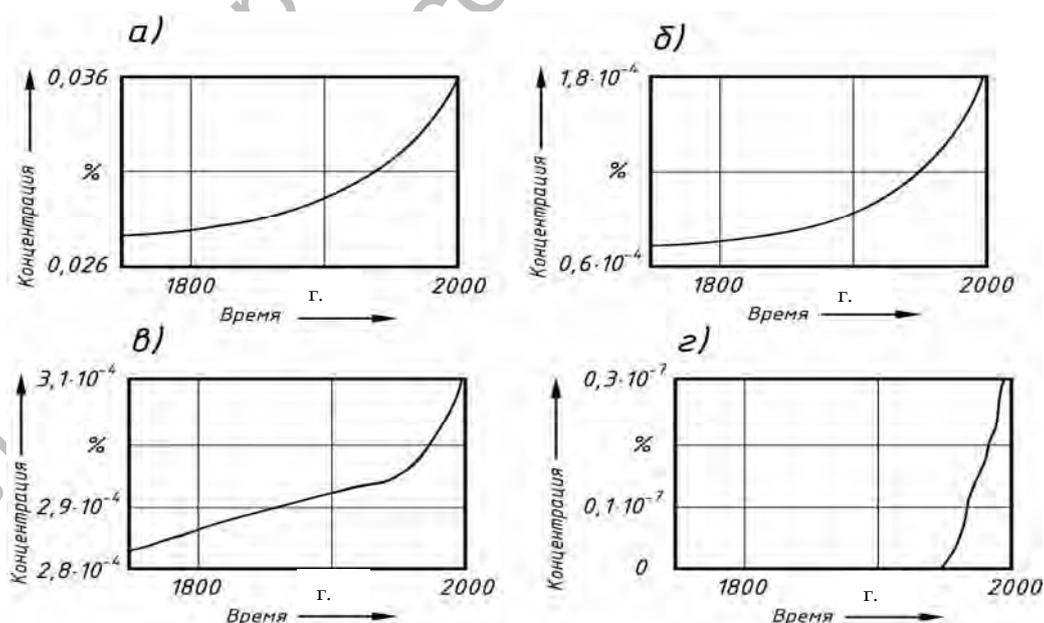


Рис. 3. Изменение концентрации парниковых газов в тропосфере Земли: а – CO<sub>2</sub>; б – CH<sub>4</sub>; в – NO<sub>x</sub>; г – фреоны

Неуклонно растет в атмосфере и содержание метана (рис. 3, б), оксидов азота и фреонов. Метан образуется при разложении органики без кислорода, попадает в атмосферу при разработке угольных месторождений, при добыче нефти, в случае аварий на газопроводах.

Значительный рост содержания оксидов азота  $\text{NO}_x$  в атмосфере во второй половине XX в. происходит из-за сжигания огромного количества топлива. За XIX и XX столетия рост содержания  $\text{NO}_x$  составил более 8 % (рис. 3, в).

Бурное развитие холодильной техники, производства аэрозолей и растворителей во второй половине XX в. привело к резкому увеличению объемного содержания фреонов (хлорфторуглеродов) в атмосфере. Так, во второй половине XX в. их содержание увеличилось в сотни раз и к концу века достигло  $0,3 \cdot 10^{-7}$  % (рис. 3, г) [7, с. 6–8].

Как уже отмечалось, наибольший вклад в парниковый эффект вносит водяной пар. В атмосферу он попадает в основном за счет испарения с поверхности океана (86 %), а также при испарении с внутриматериковых водоемов, почв и транспирации (биологическом испарении). Среднее глобальное содержание водяного пара в атмосфере составляет около 2 г над каждым квадратным сантиметром поверхности Земли, что соответствует объемной доли 0,32 %, но локальные концентрации могут достаточно сильно колебаться в пространстве и времени. Экспериментальные исследования, проведенные в центре Евразии (район озера Иссык-Куль), показали, что с 1979 по 1999 гг. среднегодовое содержание водяного пара в атмосфере возросло на 21 % (рис. 4) [7, с. 25–26].

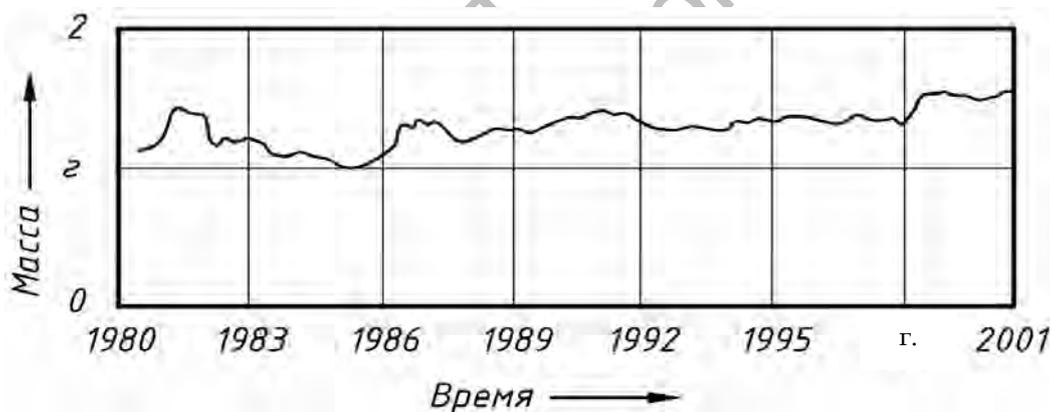


Рис. 4. Изменение содержания водяного пара в атмосфере центральной части Евразии над  $1 \text{ см}^2$  поверхности почвы

В настоящее время климат нашей планеты близок к наиболее теплому периоду голоцена, который был 5...7 тыс. лет назад. Тогда среднегодовая глобальная температура превышала такую же температуру XX в. на  $1...2 \text{ }^\circ\text{C}$  [8]. Затем, как известно, началось похолодание (возможно, из-за затухания крупных вулканов и уменьшения выбросов  $\text{CO}_2$  в

атмосферу).

За истекшее тысячелетие в Европе наблюдались значительные колебания температуры воздуха (рис. 5). В начале второго тысячелетия от рождения Христа началось потепление, продолжавшееся почти четыре века, а затем началось похолодание. Так, в 1601 г. ледостав на Москве-реке образовался

уже в середине августа. В конце XVII в. в Европе началось потепление, которое продолжается и до сих пор [8, с. 43–45].

По данным ВМО, начиная с 1900 г. наблюдается рост среднегодовой температуры в целом на нашей планете (рис. 6). В XX в. она выросла на  $(0,6 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ . Еще более значительные повышения

температуры наблюдаются в поверхностном слое вод Мирового океана. Съемки, проведенные с помощью искусственных спутников Земли в декабре 1997 г., показали устойчивые температурные аномалии в водах Мирового океана и, особенно, в Северном Ледовитом океане и южных частях Тихого океана.

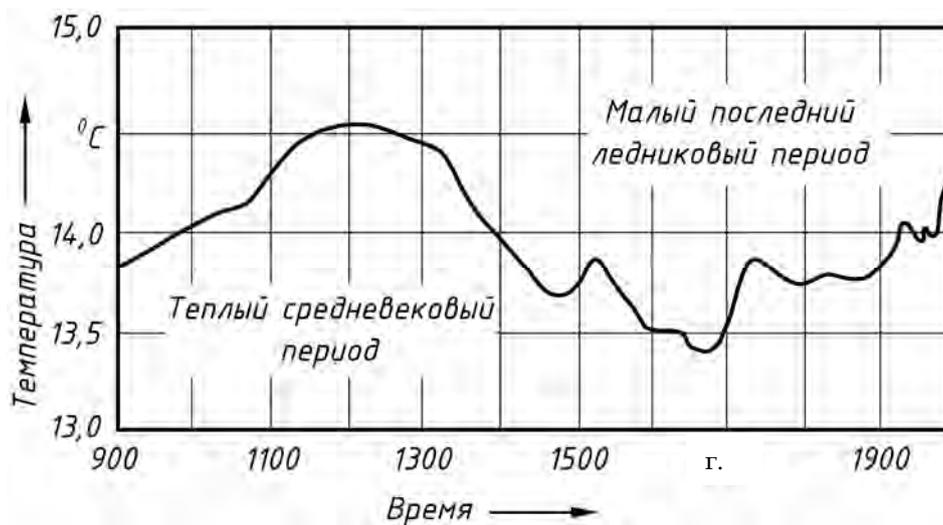


Рис. 5. Среднегодовые изменения температуры воздуха в Европе в прошлом тысячелетии

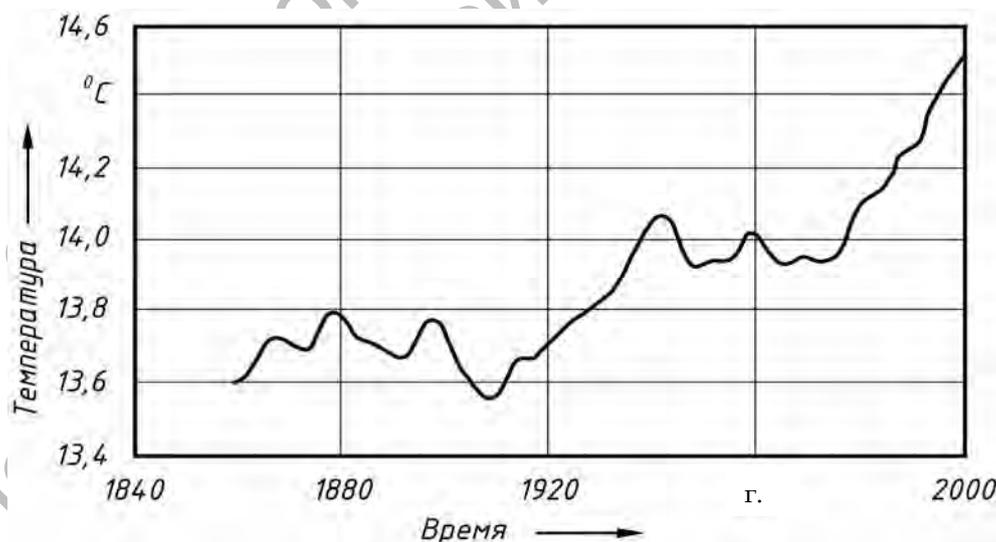


Рис. 6. Средняя глобальная температура воздуха на поверхности Земли за время инструментальных наблюдений

Эта проблема начала широко обсуждаться в научном мире. Для разработки прогнозов изменения морских берегов в 1988 г. ВМО и Программой ООН по окружающей среде была создана Межправительственная группа экспертов по изменению климата. Этой группой были разработаны вероятные сценарии изменения климата и уровня Мирового океана к концу XXI в. По их мнению, к концу этого столетия концентрация парниковых газов в атмосфере удвоится, что приведет к повышению среднегодовой глобальной температуры примерно на 1,4...5,8 °С, а уровень океана к концу столетия поднимется на высоту 0,2...0,88 м.

Группа российских ученых под руководством Р. К. Клиге (1998) подтвердила эти выводы. Они обобщили данные более 1000 уровневых станций и пришли к выводу, что в прошедшем столетии средний уровень океана повышался со скоростью, равной около 1,5 мм/г.

Повышение уровня может произойти по следующим причинам. Во-первых, при повышении среднегодовой глобальной температуры на 2 °С из-за термического расширения уровень Мирового океана поднимется на 10 см. Во-вторых, таяние всех малых ледников и ледниковых шапок на арктических островах (кроме Гренландии) может дать прибавку в 20...30 см. И, наконец, превышение скорости таяния над скоростью аккумуляции ледниковых покровов Антарктиды и Гренландии может привести к повышению уровня еще на 10 см. При таком сценарии повышение уровня океана к концу XXI в. может достигнуть 0,5 м. Однако при потеплении на 3...4 °С подъем уровня может достигнуть более 1 м [8].

При подъеме уровня Мирового океана на 1,5...2 м под затопление попа-

дут значительные территории на всех континентах общей площадью до 5 млн км<sup>2</sup>, причем наиболее густонаселенные и плодородные. На них проживает почти 1 млрд человек и собирается около трети урожая важнейших продовольственных культур. Вынужденные переселения вглубь материков чреваты социальными потрясениями и военными конфликтами. Потепление климата также приведет к неустойчивости погоды, смещению границ природных зон, росту числа ураганов и смерчей, ускорению темпов вымирания представителей флоры и фауны. По всей вероятности, при этом обострится продовольственная проблема. На севере Евразии произойдет подтаивание вечной мерзлоты и высвобождение из этих почв больших объемов метана, что усилит парниковый эффект. Кроме того, потепление климата может привести к возникновению очагов инфекционных заболеваний и усилению теплового стресса у людей и животных.

Поэтому в документах Конференции ООН по проблемам изменения климата (Найроби, 2006) говорится, что конечные последствия парникового эффекта могут иметь катастрофические последствия для всей цивилизации. Отмечено, что в 2005 г. уровень углекислого газа в атмосфере достиг значения 0,03791 %, что на 0,53 % выше, чем годом ранее, концентрация закиси азота зафиксирована на уровне 0,03192 %, что на 0,2 % выше, чем в 2004 г., уровень еще одного парникового газа, метана, остался прежним. По прогнозам ученых, выступивших на конференции, повышение температуры может привести к сдвигу климатических зон и к 2085 г. треть видов животных и растений в Африке может лишиться естественной среды обитания. В некоторых районах из-за подъема уровня воды в море может

быть разрушено 30 % прибрежной инфраструктуры. Ученые также прогнозируют снижение урожая зерновых на Африканском континенте, значительная часть жителей которого и так голодает.

Об остроте данной проблемы говорит тот факт, что в последнее время ежегодно проводится несколько Международных конференций по проблемам климата. На Международной конференции по эволюции климата, прошедшей 2 февраля 2007 г. в Париже, эксперты – крупнейшие ученые мира – единогласно отметили, что продолжающееся глобальное потепление является следствием деятельности человека. Засухи, проливные дожди и опустошительные ураганы будут происходить на нашей планете все чаще. По их мнению, к концу XXI в. средняя температура на планете увеличится на 2...4 °С по сравнению с нынешней. Уровень Мирового океана повысится более чем на полметра. Некоторые эксперты опасаются, что таяние льдов Арктики уже началось. По сообщениям американского аэрокосмического агентства NASA, Гренландия ежегодно теряет до 200 км<sup>2</sup> льда – в два раза больше, чем 10 лет назад. Изменения климата приведут к появлению нового вида беженцев – климатических, численность которых к 2100 г. может составить до 200 млн человек. Возрастет смертность от жары, а в северных странах появятся тропические болезни.

Действие Киотского протокола истекает в 2012 г., поэтому в настоящее время обсуждаются пути достижения глобального и всеобъемлющего соглашения о том, как бороться с изменением климата после 2012 г. Переговорный процесс по этому вопросу начат на Международной конференции государств – участников Рамочной конвенции ООН по изменению климата, которая прошла в декабре 2007 г. в Индонезии на острове

Бали. Предложено соглашение, предусматривающее к 2020 г. уменьшение выбросов парниковых газов на 25...40 % по сравнению с базовым 1990 г. Его подписали 36 промышленно развитых государств, в том числе Россия и Беларусь. Однако США и такие крупные развивающиеся страны, как Китай и Индия, не присоединились к данному соглашению. Они считают, что такой шаг приведет к замедлению экономического развития. Однако эксперты ООН утверждают, что меры по сокращению выбросов парниковых газов замедлят рост глобальной экономики максимум на 0,12 %. При этом подчеркивается, что глобальное изменение климата, которое повлечет за собой повышение уровня Мирового океана и рост числа стихийных бедствий, может привести к гораздо более негативным последствиям для мирового хозяйства.

Для предотвращения надвигающейся катастрофы необходимо в самые ближайшие годы уменьшить, как минимум, на треть выбросы в атмосферу «главного» парникового газа – CO<sub>2</sub>. Очевидно, что для этого примерно на столько же надо сократить объемы сжигаемого углеродного топлива. Сможет ли человечество это сделать, т. к. надо будет отказаться от целого ряда современных благ (личных автомобилей, многих электроприборов и т. д.), вызывает сомнение.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хромов, С. П. Метеорология и климатология : учебник / С. П. Хромов, М. А. Петросянец. – М. : МГУ, 2001. – 528 с.
2. Кондратьев, К. Я. Глобальный климат / К. Я. Кондратьев. – СПб. : Наука, 1992. – 359 с.
3. Котляков, В. М. Глобальные изменения за последний ледниково-межледниковый цикл / В. М. Котляков, К. Лориус // Изв. АН СССР. – 1992. – № 1. – С. 7–14.

4. **Клименко, В. В.** Энергия, природа и климат / В. В. Клименко. – М. : МЭИ, 1997. – 214 с.
5. **Будыко, М. И.** Глобальная экология / М. И. Будыко. – М. : Мысль, 1977. – 327 с.
6. **Логинов, В. Ф.** Причины и следствия климатических изменений / В. Ф. Логинов. – Минск : Навука і тэхніка, 1992. – 320 с.

7. **Переведенцев, Ю. П.** Основы экологии атмосферы : учеб. пособие / Ю. П. Переведенцев, Ю. Л. Матвеев, В. Д. Тудрий. – Казань : Изд-во Казанского ун-та, 2001. – Ч. 2. – 60 с.
8. **Каплин, П. А.** Морские побережья в XXI в. / П. А. Каплин, Ю. А. Павлидис, А. О. Селиванов // Природа. – 2000. – № 3. – С. 37–44.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 10.03.2009

**S. D. Galyzhin, A. S. Galyzhin, O. M. Lobikova**  
**Problems of the clematis change**

Analysis processes calls grow forcing-frame effect into biosphere. Show that watch grow contain carbon dioxide into Earth atmosphere grow average annual temperature of the near Earth atmosphere there are in past 150 years ago. Draw attention to the rise in temperature on the Earth perhaps lead result of substantial rising of the level world ocean and flooding considerable area of the land.