

## ВСТУПИТЕЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 504.054

DOI: 10.25514/CHS.2017.2.10980

# ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

*В. С. Петросян*

Московский государственный университет, химический факультет, Москва

Поступила в редакцию 20.10.2017 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Рассматривая проблему влияния загрязнения атмосферы на изменение климата, необходимо сформулировать различия в понятиях «*климат*» и «*погода*». Общепринято, что «*погода*» определяется физическим состоянием атмосферы в заданной точке земного шара в конкретный момент времени. Характеристиками этого состояния являются температура воздуха, давление, скорость ветра, влажность, осадки, солнечное сияние и облачность, а также такие явления, как туман, иней, град и другие погодные переменные (элементы погоды). Что касается «*климата*», то он представляет собой обобщение изменений погоды и является набором условий погоды в заданной области пространства в заданный интервал времени.

Для характеристики климата используется статистическое описание показателей изменчивости соответствующих величин и повторяемостей явлений за выбранный период времени. Эти статистики называются *климатическими переменными*. Таким образом, можно говорить о климате города, страны, материков и океанов, полушарий и Земного шара, а также о климате года, десятилетия или геологической эпохи. Наиболее важными климатическими переменными являются температура воздуха у поверхности земли и атмосферные осадки. Глобальная климатическая система объединяет пять основных компонентов: атмосферу, гидросферу, криосферу, поверхности континентов и биосферу, взаимодействие которых друг с другом существенно влияет на колебания погоды за длительные промежутки времени.

*Изменчивость климата* во времени зависит от воздействия собственной внутренней динамики и внешних воздействий, например, извержения вулканов, изменения потока солнечного излучения и воздействий, обусловленных хозяйственной деятельностью человека, таких как изменение состава атмосферы и изменений в землепользовании. Результаты наблюдаемых изменений современного климата, оцениваемые по данным инструментальных наблюдений, доступны, к сожалению, не более чем для последних полутора веков. Анализ этих результатов показывает, что территория России существенно более чувствительна к глобальному изменению климата, чем Земной шар в целом. Размах аномалий (то есть разность между максимумом и минимумом) среднегодовых температур в России достигает 3-4°C, в то время как для всего Земного шара он лишь несколько превосходит 1°C.

## ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

Реальность глобального изменения климата подтверждается многими фактами. Так, например, обнаруженный по данным наблюдений рост глобальной температуры у поверхности Земли сопровождается ростом среднего уровня океана и уменьшением площади снежного покрова на суше Северного полушария. Следует отметить, что факт потепления климата не отвергается противниками научного вывода о реальности наблюдаемого потепления, а возражения сводятся к тому, что, поскольку подобные периоды потепления наблюдались и в прошлом, нет оснований предполагать их антропогенное происхождение. При подробном анализе возможных причин роста приповерхностной температуры Земного шара в масштабах столетия было сделано предположение, что наиболее существенное влияние оказывает усиление парникового эффекта в результате роста концентрации углекислого газа за счет сжигания органического топлива (нефть, газ, уголь).

Постоянные наблюдения за изменением климата, в особенности, за содержанием молекул  $\text{CO}_2$  в атмосфере, ведутся с 1858 года (Мауна-Лоа, Гавайи, США). Многолетние исследования показали, что некоторые углеродсодержащие и другие газы влияют на формирование теплового баланса атмосферы. Эти газы удерживают тот процент отражаемого от поверхности Земли инфракрасного излучения, который не был задержан водяным паром (наилучшим поглотителем теплового излучения!). Было выяснено, что наибольший вклад (49%) в повышение температуры в системе «Земля-атмосфера» вносит углекислый газ. Меньшее влияние оказывают такие газовые составляющие, как метан ( $\text{CH}_4$ ) - 18%, фреоны ( $\text{CFCl}_3$ ,  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ) – 14% и закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) – 6%. Элементарный углерод в виде сажи служит поглотителем УФ-излучения Солнца, которое также удерживают пары воды, что способствует дополнительному повышению температуры в приземном слое атмосферы.

*Ж.Б. Фурье представлял атмосферу как «стеклянную оболочку»,* которая позволяет проникать солнечному свету на поверхность Земли, но не пропускает исходящие потоки. В таком виде были представлены первичные теории о «парниковом эффекте», которые позднее развивались Тиндаллом, Аррениусом и Чемберленом. Двое последних предположили, что увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере стало причиной четвертичного оледенения и теперь может привести к глобальному повышению температуры. Действительно, увеличение или уменьшение малых газовых составляющих в атмосфере ( $\text{N}_2\text{O}$ , а также  $\text{O}_3$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$  и другие газы – 13%), которые могут удерживать исходящие потоки тепла, скажется на радиационном равновесии, приведя к его смещению.

*Вклад «парниковых газов»* в общее повышение температуры зависит от спектральных характеристик того или иного соединения. Помимо этого, вклад одного и того же газа в формирование парникового эффекта зависит от его распределения в толще атмосферы. Так, например, пары воды имеют различную концентрацию как в вертикальном положении (скапливаясь в приземном слое), так и горизонтальном, присутствуя не во всех областях

земного шара, в отличие от углекислого газа, который равномерно перемешан в воздухе в обоих направлениях.

ИК-радиацию поглощают и многие другие газообразные соединения, не считая газов, официально признанных «парниковыми». Однако общая концентрация таких газов не является большой, а время жизни слишком мало и на данный момент времени отсутствует тенденция к их накоплению. Поэтому включение их в список соединений, несущих реальную угрозу изменения климата, пока не рассматривается.

В последнее десятилетие широкое распространение получила точка зрения, что, помимо диоксида углерода, все более возрастающий вклад в глобальный парниковый эффект стал вносить *метан*. Было показано, что в 2014 - 2015 годах происходило ежегодное увеличение концентраций метана в воздухе на 10 или более миллиардных долей. Это намного превысило показатели первых годов 21-го века, когда концентрации метана росли лишь на 0,5 миллиардных долей в год. Предполагается, что такой существенный рост выбросов метана связан со значительным увеличением в мире рисовых плантаций и голов домашних животных. А учитывая, что выбросы  $\text{CO}_2$  не меняются, то эффект растущих выбросов метана, парниковый коэффициент которого в 28 раз больше, чем у диоксида углерода, ситуация с относительной ролью  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в глобальном парниковом эффекте может измениться и метан перехватит пальму первенства у диоксида углерода.

В пользу таких предположений свидетельствуют и открытия последних лет. В октябре 2011 года российско-американская экспедиция обнаружила в Восточной Арктике залежи твердых метаногидратов (рис. 1), образовавшихся в результате внедрения молекул метана в полости различных кластеров воды (рис. 2).

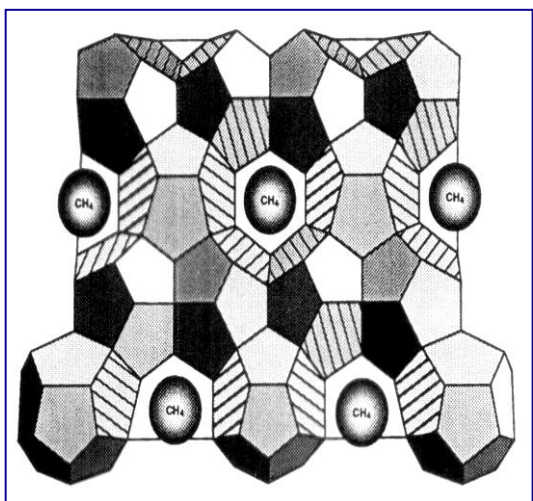


Рис. 1. Метаногидраты

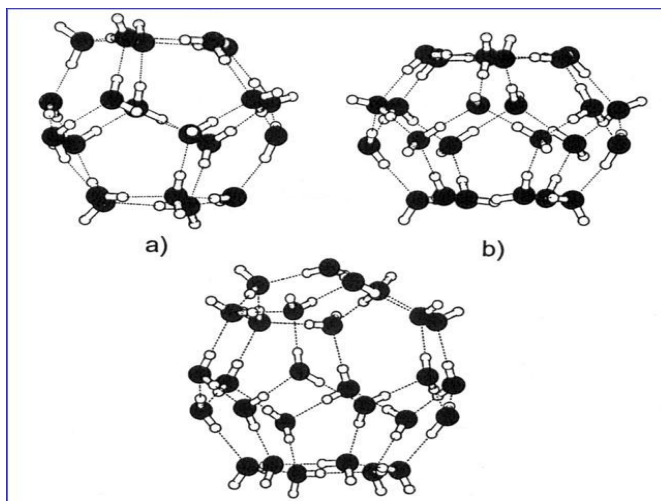


Рис. 2. Кластеры воды

Проведенные для метаногидратов квантовохимические расчеты указывают на два типа возможных структур: пентагональный додекаэдрон ( $5^{12}$ ) и тетракаидекаэдрон ( $5^{12}6^2$ ). Энергия связывания метана с водой равна  $-6,9$

ккал/моль для ( $5^{12}$ ) и  $-7,0$  ккал/моль для ( $5^{12}6^2$ ). Среднее расстояние C-O= $3,88\text{\AA}$  в  $\text{CH}_4 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$  и  $4,27\text{\AA}$  в  $\text{CH}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ .

В обнаруженных в Восточной Арктике залежах твердых метаногидратов максимальный фонтан в диаметре – около 1 км. При расконсервации 1-2 процентов этих запасов концентрация атмосферного метана может увеличиться многократно, что может привести к трудно предсказуемым последствиям. Уже сейчас в Арктике повсюду видны признаки глобального потепления. Например, в последнее время резко возросло количество штормовых дней, а температура воды аномально высока для разных времен года. Замедляется и процесс образования льда.

**В 1992 году в Нью-Йорке (США)** была принята Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК), в которой были продекларированы два основных вывода:

1) Уровень поступления парниковых газов в атмосферу необходимо регулировать так, чтобы обеспечить стабильный рост экономики в соответствии с принципами устойчивого развития (Ст. 2);

2) Всем странам следует защищать климатическую систему на благо нынешнего и будущего поколений (Ст. 3).

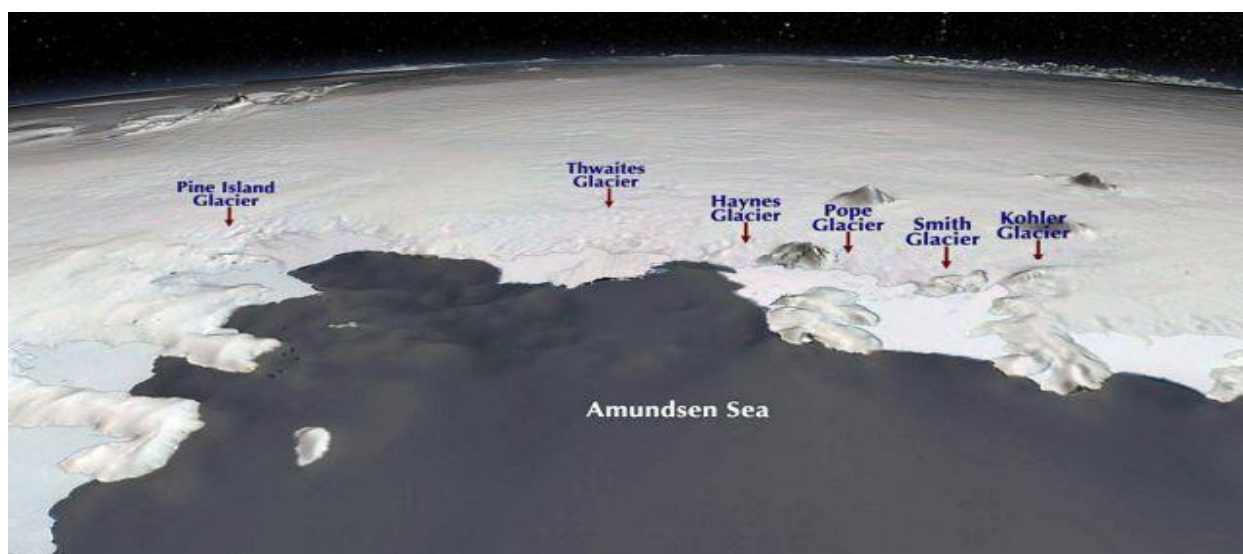
**В 1997 году в Киото (Япония)**, в дополнение к этой конвенции было принято международное соглашение, известное под названием Киотский протокол. Это соглашение подписали представители развитых стран и стран с переходной экономикой, обязуясь стабилизировать и сократить выбросы парниковых газов, в особенности  $\text{CO}_2$ . Конвенцию приняли, но на Земле продолжалось потепление климата и уровень воды в Мировом океане продолжал расти. В 2007 году средняя температура на Земле за 100 лет выросла на  $0,74^\circ$ , а в России в 2009 году среднее значение превысило норму 1961 - 1990 годов на  $0,55^\circ$ , а в рекордном 2007 г. – на  $2,1^\circ$ , и в целом линейный тренд изменения температуры – положительный. Последствия выглядят обескураживающими: в 2016 году поступило сообщение о том, что 5 из 11 Соломоновых островов ушли под воду, и остальные острова в ближайшее время ожидает такая же судьба.

Канадский биолог и фотограф журнала «National Geographic» Пол Никлен опубликовал в 2014 году фотографию мертвого белого медведя, сделанную им в ходе экспедиции на севере Норвегии, на полярном архипелаге Шпицберген (Свальбард). Гибель медведей здесь обусловлена тем, что таяние льда, вызванное глобальным потеплением, не позволяет им добывать себе пищу привычным способом – охотиться на тюленей. В 2012 году арктические льды в этом районе истончились до рекордного уровня.

Доктор Йан Стерлинг, представитель международной организации по защите полярных медведей, в сотрудничестве с Канадской службой охраны диких животных и университетом Альберты, занимается изучением этих крупных млекопитающих уже более сорока лет. Исследователь отмечает, что погибшие от голода медведи на острове Свальбард были обнаружены в отдалении от их привычного ареала обитания. Этот факт был обусловлен отсутствием достаточного уровня промерзания фьорда, что спровоцировало

медведей осуществлять поиск пищи на других территориях. В конце концов, медведи, не сумевшие найти еду, просто умирали от истощения.

Аэрокосмическое исследование НАСА в мае 2014 г. показало, что остановить сильное таяние ледников в Антарктиде невозможно (Рис. 3).



**Рис. 3.** Таяние ледников в Антарктиде в районе моря Амундсена.

Только таяние ледников моря Амундсена приведет к поднятию воды в Мировом океане на 4 фута. Когда вода поднимется на 12 футов, то под водой окажутся 20% Лос-Анджелеса, 25% Нью-Йорка и 75% Майами. Еще большим является вклад термального расширения, в результате чего с 1993 по 2010 гг. ежегодно уровень воды увеличивался в среднем на 1,1 мм.

**В последних научных трудах сообщается,** что изменения климата происходят именно из-за выбросов парниковых газов. В итоге жара накатывает волнами: в 2010 году это испытала Россия, в 2012 году – США, а в 2014 году – Европа. Прогнозируется, что во второй половине XXI века площадь суши, подверженной аномально высоким температурам, будет возрастать примерно на 1% в год, а к концу столетия от жары будет страдать 85% суши на Земле.

Уже в 2012 году в руководстве РФ было заявлено, что первые шаги по противодействию климатическим изменениям, сделанные в начале 90-х годов, явились успешным опытом, но теперь они требуют оценки и переосмысления. Два сформулированных направления: смягчение последствий и адаптация, и два механизма для продвижения по этим направлениям – финансирование и передача технологий, можно обоснованно считать весьма перспективными, так как каждое из них связано с концепцией устойчивого развития. Смягчение последствий – сокращение антропогенных выбросов и сохранение климата на благо будущих поколений. Адаптация - приспособление к изменениям климата, которое позволяет уменьшить вред или использовать его благоприятные возможности.

Всеобщая обеспокоенность в мире проблемами, связанными с изменением климата, привела к массовым демонстрациям во многих странах,

особенно, после того, как ООН объявила о проведении новой климатической конференции в Париже, целью которой было подписание международного соглашения по поддержанию увеличения средней температуры планеты на уровне 2°C, применимого ко всем странам.

Каковы должны быть сокращения эмиссии, в частности, CO<sub>2</sub> для достижения поставленной цели? В специальном исследовании было показано, что для достижения этой цели (2°C) среднемировые темпы сокращения эмиссии CO<sub>2</sub> должны составлять примерно 5,5% в год, достигая для развитых стран величин 10-15% в год. Это ставит под вопрос возможность экономического роста в этих странах. А если еще иметь в виду то, что мы сказали об инвертировании роли диоксида углерода и метана, то задача представляется и вовсе трудно разрешимой, если не поменять кардинально в мире энергетическую политику, с преимущественной ориентацией на возобновляемые источники электроэнергии.

### ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Чем больше в тропосфере будет поступать, в частности, продуктов горения, тем больше будет образовываться CO<sub>2</sub> и других парниковых газов, а значит и действие «парникового эффекта» будет расти. Однозначного метода предотвращения этого эффекта нет и быть не может, т.к. CO<sub>2</sub> выбрасывается в атмосферу слишком большим количеством источников, а его образование в атмосфере происходит в процессе разложения большого количества органических соединений. Однако есть возможность снизить его количество, подходя к использованию природных ресурсов более рациональным образом. Так, например, сокращение использования ископаемого топлива, особенно угля и нефти, позволит снизить количества выбрасываемых в атмосферу соединений, окисляющихся до CO<sub>2</sub>. Использование специальных фильтров и катализаторов, позволяющих удалить углекислый газ, прежде чем произойдет его выброс, также поспособствуют снижению концентрации CO<sub>2</sub>.

Использование альтернативных источников энергии, повышение КПД ТЭС за счет скрытых экологических резервуаров, а также прекращение уничтожения лесов и компенсаторное озеленение пострадавших от пожаров и человеческого воздействия территорий будут способствовать восстановлению теплового баланса Земли и предотвратят не только изменение климата, но и глобальное загрязнение.

Член Редакционного Совета,  
заслуженный профессор, доктор  
химических наук, эксперт ООН по  
химической безопасности

В.С. Петросян

