

ФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ

551.510.5

УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**Б. М. Смирнов**

Наиболее интенсивная сторона производственной деятельности человека связана с переработкой и сжиганием горючих ископаемых — нефти, угля, газа, органических отходов. Таким образом обеспечивается свыше 95% современного производства энергии. Побочным результатом этой деятельности является выпускание в атмосферу углекислого газа¹, причем по масштабам этот процесс воздействия человека на атмосферу Земли значительно превосходит любые другие. Поэтому в данном случае легче разобраться, к каким изменениям в окружающей среде может привести производственная деятельность человека. Анализу проблемы накопления углекислого газа в атмосфере Земли и последствий, к которым это может привести, посвящена данная статья.

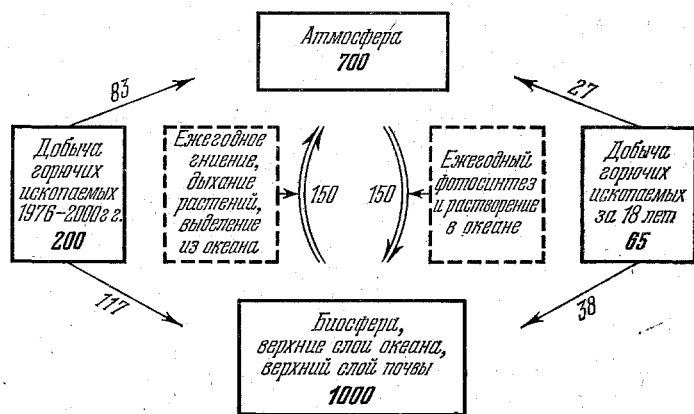
В первую очередь нам необходимо понять, какая часть промышленного углекислого газа остается в атмосфере Земли, а какая уходит в другие сферы обращения. При этом мы будем опираться на измерения обсерватории Мауна-Лоа (Гавайские острова). Согласно этим измерениям, с 1958 г. до 1978 г. среднее содержание углекислого газа в атмосфере увеличилось примерно с 313 *ppm* *) до 328 *ppm*. Естественно связать эти изменения с производственной деятельностью человека. Если увеличение количества углекислого газа в атмосфере за это время сравнить с количеством углекислого газа, созданным в результате сжигания горючих ископаемых, то мы получим, что приблизительно 40% индустриального углекислого газа остается в атмосфере, остальное уходит в другие сферы обращения. Такая пропорция наблюдается и в меньшие промежутки времени, но с худшей точностью. Указанное соотношение позволяет построить простую модель баланса углерода между атмосферой и другими сферами обращения **, которая представлена на рисунке²⁻⁵. Это дает возможность составить прогноз накопления углекислого газа в атмосфере в ближайшие несколько десятков лет. При составлении такого прогноза мы будем опираться на данные статей^{1, 3}, согласно которым в 2025 г. в атмосферу

*) *ppm* — число частей на миллион; 313 *ppm* означает, что на миллион молекул воздуха приходится 313 молекул углекислого газа.

***) Распределение углерода по различным сферам обращения таково². Атмосфера содержит примерно 700 млрд. тонн углерода в составе углекислого газа; в биосфере содержится 800 млрд. тонн углерода, в органическом веществе почвы имеется 1000—3000 млрд. тонн углерода, в океане примерно 40 000 млрд. тонн, причем в верхних слоях (глубиной до 100 м) примерно 600 млрд. тонн. Лишь часть этого углерода, содержащегося в биосфере и верхних слоях океана, эффективно участвует в обмене с углеродом атмосферы.

Земли будет выпущено 26 млрд. тонн углерода в составе углекислого газа, что соответствует ежегодному приросту 3,4 %.

Заметим, что в данном случае масштаб в несколько десятков лет является наиболее благоприятным для прогноза. С одной стороны, это позволяет пренебречь кратковременными вариациями масштаба года,



которые связаны с погодой. С другой стороны, за это время мало скажется изменение растительного покрова Земли, частично связанное с хозяйственной деятельностью человека, и другие глобальные изменения такого же плана; естественно, полагается, что изменение содержания углерода в атмосфере и других сферах обращения за рассматриваемые времена относительно невелики, так что процессы, определяющие характер его обмена, сохраняются.

При построении модели баланса углерода между атмосферой и другими сферами обращения мы используем следующие соображения. По мере увеличения количества углекислого газа в атмосфере поток углекислого газа из нее в другие сферы обращения в результате фотосинтеза и усваивания в верхних слоях океана возрастает пропорционально его содержанию в атмосфере. С другой стороны, обратный поток углекислого газа в атмосферу в результате процессов гниения, разложения органического вещества, дыхания растений, окисления изменяется пропорционально количеству углерода в соответствующих сферах обращения углерода. Тем самым в процессе накопления углекислого газа в атмосфере сохраняется соотношение между количеством углерода в атмосфере и другими сферами обращения, с которыми атмосфера обменивается углеродом. Это составляет основу модели баланса углерода (см. рисунок), где потоки углерода берутся в соответствии с ^{2,6}. Данные о накоплении углекислого газа в атмосфере представлены в таблице *).

Проанализируем теперь последствия, связанные с ростом содержания углекислого газа в атмосфере, и их влияние на условия жизни человека. Наиболее важное значение атмосферного углекислого газа связано с его участием в биологических процессах. Без углекислого газа атмосфера был бы невозможен фотосинтез — наиболее интенсивный биологический процесс. В настоящее время мощность солнечной энергии, перерабатываемой при фотосинтезе, почти на порядок выше полной мощности

*) Добывая горючие ископаемые и сжигая их, человек существенно изменяет геологические времена, соответствующие обмену между углеродом, находящимся в недрах Земли и на ее поверхности. При существующем масштабе добычи полезных ископаемых это время снижается с 3 млрд. до 5 млн. лет.

Год	1958	1978	2000	2025
Количество углерода в сожженных горючих ископаемых с 1958 г., млрд. тонн	—	75	260	680
Увеличение количества CO ₂ в атмосфере с 1958 г., %	—	5	16	42
Концентрация углекислого газа в атмосфере, ppm	313	328	363	444
Увеличение температуры поверхности Земли, град:				
при $\eta = 0$ *)	—	0,08	0,29	0,74
при $\eta = 70\%$	—	0,05	0,17	0,46

*) η — влажность воздуха

всех мировых энергетических установок. При оптимальных условиях фотосинтеза — достаточном количестве влаги, минеральных удобрений и т. д. — скорость фотосинтеза изменяется пропорционально концентрации углекислого газа в атмосфере, пока эта величина не достигнет масштаба процентов ⁷. Поэтому увеличение количества углекислого газа в атмосфере будет способствовать росту урожаев. Тем самым накопление углекислого газа в атмосфере является благоприятным для человека фактором. При этом при существующих масштабах влияния изменения содержания углекислого газа в атмосфере на здоровье человека несущественно. В воздухе, который выдыхает человек, содержится несколько процентов углекислого газа, и на этом уровне рассматриваемые изменения несущественны.

Другое проявление процесса накопления углекислого газа в атмосфере связано с парниковым эффектом. Оно широко обсуждается в литературе. Если считать, что атмосфера Земли абсолютно прозрачна в инфракрасной области поглощения молекул углекислого газа, то согласно расчетам ⁸⁻¹⁷ удвоение количества углекислого газа в атмосфере приведет к увеличению температуры поверхности Земли на 1,5—3°. Различие данных различных расчетов объясняется разным способом аппроксимации спектра углекислого газа, разным распределением температуры по высоте в атмосфере и разным способом разделения дополнительного потока излучения, попадающего на поверхность Земли, по различным каналам теплового баланса Земли. Изменение температуры поверхности Земли по сравнению с 1958 г. за счет соответствующего увеличения газа в атмосфере приведено в таблице. Эти данные основаны на расчетах работы ¹⁸. Как видно, присутствие молекул воды в атмосфере существенно снижает влияние углекислого газа на тепловой баланс Земли. Приведенные цифры при средней влажности атмосферы (70 %), очевидно, еще снизятся, если учесть ограниченность прозрачности атмосферы в области поглощения молекул углекислого газа из-за поглощения другими молекулами, аэрозолями и пылевыми частицами атмосферы. Тем не менее через пятьдесят лет влияние антропогенного углекислого газа на климат Земли может стать заметным.

Хотя накопление углекислого газа в атмосфере является наиболее интенсивным результатом влияния человека на атмосферу Земли, с точки зрения теплового баланса и климата Земли это не самый сильный способ воздействия человека на атмосферу. Дело в том, что изменение оптических свойств атмосферы в инфракрасной области спектра, способное привести к повышению температуры Земли на градус, возможно при введении в нее

примесных оптически активных молекул с концентрацией 0,01—0,1 ppm. Такова же концентрация основных примесных частиц в фотохимическом смоге, т. е. при такой концентрации примесных частиц в атмосфере ее химический состав может оказаться неприемлемым для человека. По этой причине не менее важную роль, чем углекислый газ, для климата Земли и физико-химических свойств атмосферы в дальнейшем могут играть озон, соединения азота, серы, галогенов, которые создаются в атмосфере при участии человека. Поскольку процессы, протекающие при их участии, связаны с малыми концентрациями этих частиц, то может оказаться, что обусловленные этими процессами изменения в атмосфере не будут выявлены, пока они не достигнут опасного уровня. Это требует весьма детального исследования физико-химических процессов, протекающих в атмосфере, и влияния человека на них.

Институт атомной энергии
им. И. В. Курчатова

ЛИТЕРАТУРА

1. Ротти Р. М.— УФН, 1978, т. 126, с. 531 (см. данный номер УФН).
2. Woodwell G. M.— Scientific American, 1978, v. 238, No. 1, p. 34.
3. Болин Б.— В сб. Биосфера.— М.: Мир, 1972.
4. Hall C. A. S., Ekdaahl C. A., Wartenberg D. E.— Nature, 1975, v. 255, p. 136.
5. Смирнов Б. М.— Природа, 1977, № 4, с. 10.
6. Семенов Н. Н.— Вестн. АН СССР, 1977, № 4, с. 11.
7. Ничипорович А. А. Фотосинтез и «сумма жизни» на Земле.— В кн. Будущее науки.— М.: 1974, с. 164.
8. Manabe S., Wetherald R. T.— J. Atm. Sci., 1967, v. 24, p. 241.
9. Rasool S. I., Schneider S. H.— Science, 1971, v. 173, p. 138.
10. Ракипова Л. Р., Вишнякова О. Н.— Метеорол. и гидрол., 1973, № 5, с. 23.
11. Sellers W. D.— J. Appl. Meteorology, 1974, v. 13, p. 831.
12. Будыко М. И. Изменения климата.— Л.: Гидрометеиздат, 1974.
13. Manabe S., Wetherald R. T.— J. Atm. Sci., 1975, v. 32, p. 3.
14. Manabe S.— In: The Changing Global Environment/Ed. S. F. Singer — Dordrecht, Holland: D. Reidel, 1975.— P. 73.
15. Schneider S. H.— J. Atm. Sci., 1975, v. 32, p. 2060.
16. Кондратьев К. Я. Новое в теории климата.— Л.: Гидрометеиздат, 1976.
17. Смирнов Б. М., Шляпников Г. В.— В кн. Химия плазмы.— М.: Атомиздат, 1976.— Вып. 3, с. 130.
18. Смирнов Б. М., Шляпников Г. В.— ДАН СССР, 1978, т. 241, с. 84