



Новое
в жизни,
науке,
технике

А.С.Монин,
Ю.А.Шишков

Подписная
научно-
популярная
серия

7'90

ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

Подписная научно-популярная серия

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

7/1990

Издается ежемесячно с 1966 г.

А. С. Монин,
член-корреспондент АН СССР

Ю. А. Шишков,
кандидат географических наук

ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

(Часть 1. Климат и его изменения)

СОДЕРЖАНИЕ

ЧТО ОЗНАЧАЕТ ЭТО СЛОВО! 3

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 4

Потепление в двадцатом веке 4

Парниковый эффект 18

Озоновая дыра 31

ЧЕЛОВЕК И КАМЕНЬ 44

О чем говорит название ювелирного камня! 44

Издательство «Знание»
Москва 1990

ББК 26.234.7
М77

МОНИН Андрей Сергеевич — доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент АН СССР. Работал в Институте физики атмосферы АН СССР, много сделал для развития Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, директором которого был более двадцати лет. В настоящее время А. С. Монин заведует лабораторией в этом институте. Член бюро Всесоюзной ассоциации «Экология и мир». Автор более 500 работ — от строгих теоретических исследований до популярных книг и статей. Среди наиболее известных — «Статистическая гидромеханика» (совместно с А. М. Ягломом), «Прогноз погоды как задача физики», «Вращение Земли и климат», «Введение в историю климата», «История Земли».

ШИШКОВ Юрий Александрович — кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Автор более 70 научных работ, главным образом по вопросам крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы, изменения климата Земли. В соавторстве с А. С. Мониным написал книгу «История климата».

Монин А. С., Шишков Ю. А.
М77 Глобальные экологические проблемы. — М.:
Знание, 1990. — 48 с. — (Новое в жизни, науке,
технике. Сер. «Науки о Земле»; № 7).
ISBN 5-07-000748-3
20 к.

В брошюре, являющейся первой частью работы авторов, рассмотрены основные глобальные экологические проблемы, связанные с изменениями климата как в результате антропогенных воздействий, так и вследствие естественных причин. Показано, что потепление XX века — сложное явление, неоднородное в пространстве и во времени. Рассмотрены также проблемы парникового эффекта и ослабления стратосферного озонового экрана. Состояние этих проблем говорит о недостаточности имеющихся знаний для надежного прогноза дальнейшей эволюции климата и озонового экрана, что требует осуществления международных глобальных научных программ.

Брошюра рассчитана на лекторов, слушателей и преподавателей народных университетов, читателей, интересующихся проблемами экологии.

1805040500

ББК 26.234.7

ISBN 5-07-000748-3

© Монин А. С., Шишков Ю. А., 1990 г.

Что означает это слово?

В последние годы мы часто слышим и употребляем слово «экология», но вряд ли можно считать, что все понимают под ним одно и то же. О том, какой смысл следует вкладывать в это понятие, спорят даже специалисты.

А пока они спорят, неспециалисты уже поняли, что такое экологический минимум: это значит — дышать чистым воздухом, пить чистую воду, есть пищу без нитратов и не светиться в темноте.

Термин «экология» (от греческих «ойкос» — дом, место обитания, и «логос» — наука) был придуман в 1866 году немецким зоологом Эрнстом Геккелем, который ввел его в обиход для обозначения «общей науки об отношениях организмов к окружающей среде», куда мы относим в широком смысле все «условия существования». Это понятие, первоначально довольно узкое, в дальнейшем расширялось, какое-то время и экология развивалась как одна из биологических наук, изучающая не отдельные организмы, а структуру и функционирование биологических систем — популяций, видов, сообществ — и их взаимодействий друг с другом и с окружающей средой. Такое или близкое определение экологии можно найти во многих современных энциклопедиях и справочниках.

Но сейчас понятие «экология» уже далеко вышло за рамки того, что вкладывалось в него Эрнстом Геккелем и что указывается в справочниках и энциклопедиях. Теперь это уже самостоятельная наука об окружающей среде (с точки зрения ее взаимодействий с живыми организмами и прежде всего с людьми). Ее питает не только и не столько биология, но и почти все науки о Земле — метеорология, гидрология, океанология, климатология, география, геология с необходимыми для них физико-математическими и химическими методами, а также социология, психология и экономика.

Сейчас эта наука, пожалуй, ближе не к биологии, а к географии, включая ее физическую и экономическую половины. Думается, что для географии, казалось бы, уже исчерпавшей свои

прежние творческие задачи, переориентация на экологию открывает новые неограниченные перспективы.

Такого расширения содержания экологии и смещения в нем акцентов потребовал стремительный количественный рост человечества, которое начало осознавать опасности, угрожающие всей планете (ядерная катастрофа, возможный парниковый эффект и тому подобное), уже столкнулось в своей практике с ограниченностью природных ресурсов (в том числе энергетических) и воочию увидело губительные побочные воздействия неразумной хозяйственной деятельности на окружающую среду — экологические катастрофы, как Чернобыль и Арал. В связи с этим современная экология ставит во главу своих интересов взаимодействия человека с экологическими системами, всей окружающей средой.

Упомянув количественный рост человечества, мы, однако, надеемся, что имеющемуся сейчас и даже несколько большему количеству людей на Земле можно обеспечить экологический минимум. Но единственный путь к этому видится в том, чтобы решительно порвать с экстенсивной экономикой и перейти к интенсивной.

Экстенсивная экономика — это, во-первых, добыча и использование как можно большего количества природных ресурсов (включая энергию) и, во-вторых, попытки произвести как можно больше продуктов промышленности и сельского хозяйства. И то и другое природоразрушительно. Такая экономика неадекватна. Она бесперспективна.

Интенсивная экономика — это производство необходимого количества потребительских продуктов и товаров при как можно меньших затратах энергии и других ресурсов (и строгом соблюдении природоохранных норм очистки всех сбросов и утилизации отходов до перехода на замкнутые циклы, например, воздухо- и водопользования). Возможность такой экономики доказана многочисленными примерами энерго- и ресурсосберегающих безотходных технологий, используемых в развитых странах.

Хотя в последние годы мы начали осознавать единство и конечность биосферы и всей окружающей среды, ответственность человечества за свою собственную судьбу, судьбу биосферы, судьбу всей планеты, мы еще очень далеки от того состояния, которое В. И. Вернадский обозначил термином «ноосфера» (от греческого «ноос» — разум). Последнее подразумевает превращение человека из чужеродного элемента в природе в ее неотъемлемую, органично вписывающуюся в нее часть. Это будет достигнуто только тогда, когда новое мышление, в котором экологические проблемы должны иметь высший приоритет, станет внутренней потребностью всего человечества, от лиц, облеченных властью и распоряжающихся ресурсами, до всех граждан мира. Пока же в дополнение к естественно возрастающим экологическим проблемам люди продолжают создавать все новые трудности, которые неизбежно придется преодолевать, затрачивая большие усилия и средства.

Представляется, что все экологические проблемы можно отнести прежде всего к двум связанным друг с другом главным факторам: изменениям климата и загрязнению окружающей среды. Этим двум факторам и посвящена настоящая работа.

Хотя изменения климата, естественные или вызванные деятельностью человека (так называемые антропогенные), происходят сравнительно медленно, они охватывают огромные регионы и потому могут представлять серьезную проблему для человечества. При значительных изменениях климата произойдут смещения климатических зон, в результате чего людям придется целиком или частично перестраивать в этих зонах свою хозяйственную деятельность. Загрязнение окружающей среды также принимает глобальный характер, так как фактически оно не знает национальных границ. Нарастание загрязнения превращается в опасность для самого существования биосферы, и в том числе всего человечества,

Изменения климата

Потепление в двадцатом веке

Начиная с конца прошлого века глобальная температура приземного воздуха повысилась на $0,5—0,7^{\circ}\text{C}$. С первого взгляда эта величина может показаться незначительной, однако напомним, что во время максимальной стадии последнего оледенения 18 000 лет назад, когда мощный ледяной панцирь сковывал северную половину Европы (вплоть до 50° северной широты) и Северную Америку (до 40° северной широты), средняя глобальная температура воздуха у поверхности Земли была всего лишь на 5°C ниже современной; с другой стороны, около пяти миллионов лет назад, когда температура была приблизительно на столько же выше современной, Гренландия была свободна от материкового льда и покрыта лесами, а Арктический бассейн еще не знал многолетнего льда.

Если температура будет продолжать расти с такой же скоростью, как в последние 10—15 лет, то к середине следующего столетия она повысится на $1,3^{\circ}\text{C}$. По некоторым прогнозам, скорость потепления увеличится в сравнении с современной, и тогда к середине XXI века температура повысится на величину от $1,5$ до $4,5^{\circ}\text{C}$. Трудно сказать, будет ли в этом случае климат в целом более благоприятным для хозяйственной деятельности людей или нет. В одних районах условия могут улучшиться, в других, наоборот, — ухудшиться. Определенно, однако, при таком интенсивном потеплении должны произойти существенные смещения климатических зон, что безусловно затруднит условия жизни и хозяйственной деятель-

ности людей на большей части земного шара. Так, в умеренных широтах Северного полушария граница между лесом и степью при таком потеплении может перемещаться на север на 100—150 километров за десятилетие и к 2030 году может переместиться на 400—600 километров. Вследствие таяния материковых льдов в полярных районах будет происходить быстрый подъем уровня океана, и под угрозой затопления окажутся хотя и небольшие по площади, но сейчас весьма обжитые людьми прибрежные территории.

Потепление началось в конце XIX века, но как явление крупного масштаба привлекло внимание климатологов (в 20—30-е годы нынешнего столетия). В эти годы появились признаки интенсивного потепления Арктики, и сначала говорили не о глобальном потеплении, а именно о потеплении Арктики. Вслед за этим анализ измерений температуры воздуха показал, что в 30-х годах XX века температура воздуха была выше, чем в конце XIX века, не только в полярных широтах, где потепление было наибольшим (температура зимой в Западной Гренландии была на 5° С, а на Шпицбергене — на 8—9° С выше, чем в 1912—1926 годах), но и в умеренных широтах. (Потепление сопровождалось повсеместным отступанием горных ледников. Ледник Якобсхавн в Западной Гренландии за 40 лет — с 1880 по 1920 год — отступил на 20 километров. Ледники отступали в Европе, Азии, Северной Америке, даже в горах Экваториальной Африки и в тропической части Южноамериканских Кордильер.

Некоторые острова Северного Ледовитого океана, сложенные в

основном ископаемым льдом, существенно изменили свои очертания, а иные вообще исчезли с лица Земли. Граница вечной мерзлоты отступила к северу, а ее верхняя граничная поверхность заглубилась. Так, в Туруханске в 1937 году было отмечено, что за прошедшие сто лет верхняя граница вечной мерзлоты углубилась на 10 метров. Только в советском секторе Арктики с 1924 по 1945 год площадь морских льдов сократилась наполовину (т. е. почти на 1 миллион квадратных километров). Это позволило преодолевать весь Северный морской путь от Архангельска или Мурманска до Берингова пролива обыкновенным судам за одну навигацию, не встречая льдов. Реки и озера вследствие потепления стали вскрываться раньше, а замерзать позже.

Потепление повлекло за собой смещение границ распространения птиц и зверей к северу. Потепление вод океана привело к проникновению далеко на север теплолюбивых рыб. Жители Гренландии, например, перешли от промысла морского зверя как основного занятия к рыболовству. «В какие-нибудь полтора десятка лет и даже за еще более короткий промежуток времени, — писал один из основателей советской океанологии профессор Н. М. Книпович, — произошло такое изменение в распределении представителей морской фауны, какое связывается обыкновенно с представлением о долгих геологических промежутках».

(Потепление XX века не было непрерывным. Удивительно, но после 40-х годов оно было прервано похолоданием. Ледники во многих районах Земли стали нарастать или замедлили отступление. После

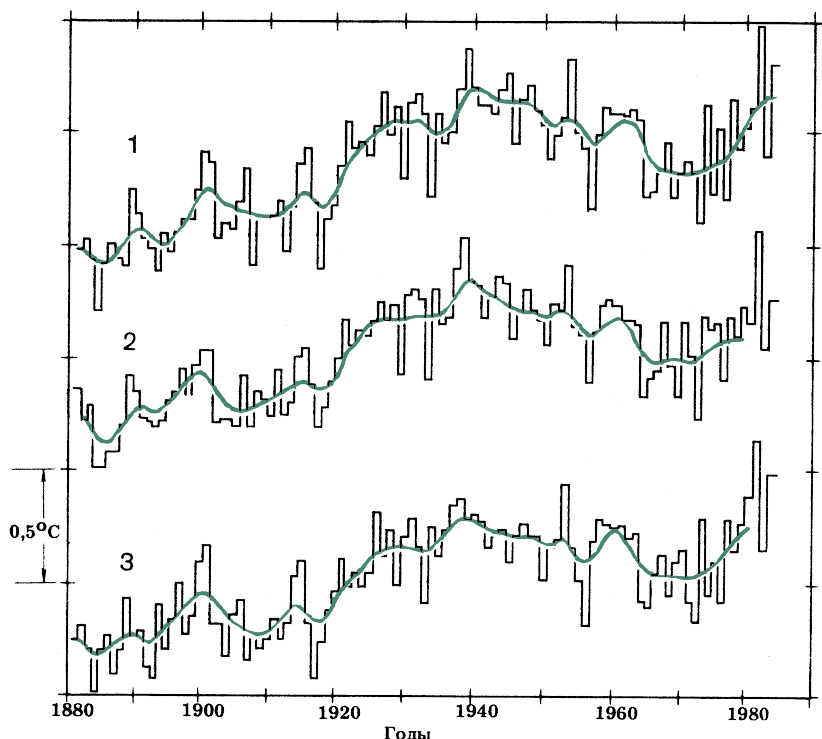


Рис. 1. Изменения температуры воздуха в Северном полушарии по данным: 1 — П. Джоунза и др. (1982), 2 — К. Я. Винникова и др. (1980, 1986), 3 — Дж. Хансена и др. (1981, 1987). Плавные кривые получены путем сглаживания

1945 года стала увеличиваться площадь арктических льдов. В некоторых морях средних широт (например, в Северном море) наблюдалось уменьшение биологической продуктивности, отмечалась миграция косяков рыб в более низкие широты. Похолодание привело к сокращению вегетационного периода в Англии на 10 суток, в ряде стран оно стало причиной снижения урожаев сельскохозяйственных культур.

Наиболее наглядной характеристикой климата является температура воздуха. Систематический

анализ измерений температуры с целью выявления ее глобальных изменений начался с работы Г. Виллета (1950), хотя междугодовые изменения температуры в различных районах изучались и раньше. Г. Виллет, а затем продолживший эту работу Дж. Митчелл получили осредненные по пятилетиям температуры приземного воздуха на всем земном шаре, а также на каждом из полушарий. Полученные ими результаты показывают, что начиная с 1880-х годов происходило глобальное повышение температуры, продолжав-

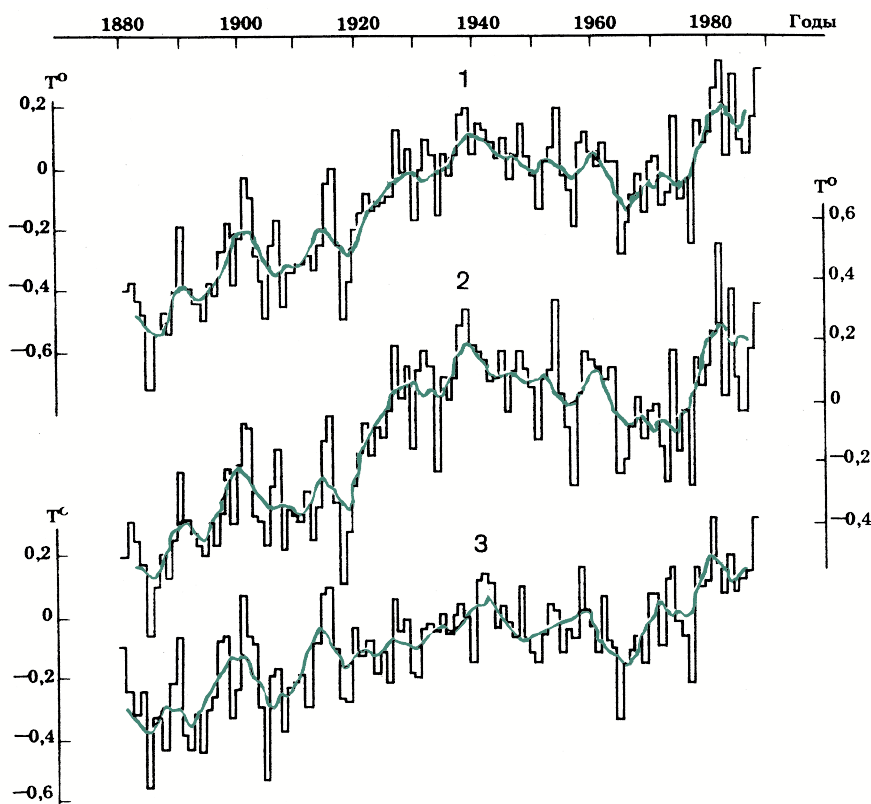


Рис. 2. Изменения температуры воздуха: 1 — для всего земного шара; 2 — для Северного полушария; 3 — для Южного полушария (Дж. Хансен, С. Лебедев, 1987). Кривые получены путем сглаживания

шееся до начала 40-х годов XX века, после чего температура стала понижаться. Г. Виллет (1974) высказал мнение, что с начала 1970-х годов вновь началось потепление. Результаты многих исследователей подтверждают выводы об изменении температуры в XX веке: потепление с конца прошлого века до 40-х годов текущего столетия, похолодание до конца 60-х — начала 70-х годов и дальнейшее интенсивное потепление. В последнее время благодаря широкому

обмену данными, привлечению судовых наблюдений и высотных аэрологических измерений, совершенствованию методики обработки данных разным авторам удалось получить кривые изменений глобальной температуры, а также температуры отдельных полушарий, которые хорошо согласуются друг с другом. На рис. 1 показаны изменения температуры воздуха в Северном полушарии, показанные в работах П. Джонса и др. (1982), К. Я. Винникова и др.

(1980) и Дж. Хансена и др. (1981).

Рассмотрим изменения температуры воздуха по результатам Дж. Хансена и С. Лебедева (1987). Они показаны тремя кривыми на рис. 2, верхняя из которых относится ко всему земному шару, средняя — к Северному полушарию, нижняя — к Южному полушарию.

Тонкие ступенчатые линии — средние годовые значения, толстые линии — результаты пятилетнего скользящего сглаживания. Последние были получены следующим образом: для каждого года рассматриваемого периода суммируются значения температуры за этот год, а также за два предшествующих и два последующих года, и полученная сумма делится на пять. В результате такой операции из исходного ряда почти полностью отфильтровываются колебания с периодами менее пяти лет, колебания же большего периода сохраняются, хотя амплитуда их несколько преуменьшается (особенно на периодах, близких к 5 годам). На рисунке изменения температуры выражены в отклонениях (в °C) от среднего значения за 1951—1980 годы.

Верхняя сглаженная кривая за 1885—1939 годы поднялась на 0,67° C (немонотонно, с четырьмя частными максимумами), за 1939—1966 годы упала на 0,27° C (с тремя частными максимумами) и за 1966—1981 годы вновь поднялась на 0,35° C (с двумя частными максимумами), а всего за 1885—1981 годы поднялась на 0,75° C. В Северном полушарии (средняя кривая) эти колебания (со всеми частными максимумами) выражены резче и составляют соответственно $+0,80-0,32+0,37 = +0,85^{\circ}$ C. Последний прирост 0,37° C произошел в основном за 1974—1981 годы. В Южном полушарии (нижняя кривая) изменения за приведенные выше интервалы времени были заметно слабее ($+0,45-$

$0,22+0,36 = +0,59^{\circ}$ C), при этом не все частные максимумы совпадали с максимумами северного полушария. Один из важных выводов, который можно сделать на основании рассмотренных кривых, состоит в том, что изменения температуры в Северном полушарии были заметно больше, чем в преимущественно океанском Южном полушарии.

Дж. Хансен и С. Лебедев построили также кривые изменения годовой температуры в восьми широтных зонах — по четыре в каждом полушарии, — заключенных между параллелями 0—24—44—64—90°, площади поверхности которых относятся приблизительно как 4:3:2:1. Наиболее резкие колебания происходили в приполярной трети широт Северного полушария 64—90° северной широты, где за годы 1885—1905—1917—1939—1966—1981 происходили изменения температуры $+1,3-0,8+2,1-1,3+0,5 = +1,8^{\circ}$ C. В зоне умеренных широт Северного полушария (44—64°) изменения температуры в интервалы между годами 1885—1901—1918—1938—1970—1981 составили $+0,53-0,18+0,66-0,55+0,61 = +1,07^{\circ}$ C, а в субтропической зоне того же полушария (24—44°) между годами 1885—1900—1905—1939—1970—1979 соответственно $+0,32-0,35+0,65-0,25+0,27 = +0,64^{\circ}$ C. В тропических зонах 0—24° широты прошло девять волн колебаний температуры за период 1925—1975 годов, а суммарный прирост за столетие от первого минимума до последнего максимума все же составил около $+0,6^{\circ}$ C. В зоне 44—64° южной широты в этих же пределах было семь волн с почти одинаковыми максимумами в 1895 и 1985 годах, однако Дж. Хансен и С. Лебе-

дев считают, что по крайней мере до 1940 года в этой зоне кривая может содержать большие ошибки из-за недостаточного количества данных. В южной приполярной трети 64—90° южной широты имеются данные только за 1958—1972—1977—1981 годы с колебаниями $+0,9—0,4+0,5 = +1,0^{\circ}$ С.

Эти данные говорят, во-первых, о том, что изменения температуры как за весь период, так и в отдельных интервалах увеличиваются с широтой, особенно в Северном полушарии, и, во-вторых, что изменения температуры в любой зоне не являются простым повторением изменений в соседних широтных зонах. Тем не менее можно сделать заключение, что потепление 1880—1940 годов прослеживается во всех широтных зонах (за исключением южных приполярной и умеренной зон, где либо нет совсем, либо недостаточно данных наблюдений). Похолодание 1940—1965 годов четко выражено главным образом в высокоширотных зонах Северного полушария, тогда как в остальных широтных зонах скорее следует говорить о весьма слабом изменении (но все же отрицательном). Наконец, потепление последних 15—20 лет хорошо заметно в большинстве широтных зон.

(Анализ географического распределения изменений температуры показывает, что в сумме за столетие наибольшее потепление произошло в Арктике.) Значительное потепления сезонность меняется кое-где и в более низких широтах, в частности в западной и центральной Азии, центральной и восточной Канаде, Гренландии, Аляске и в северных районах Южной Америки (рис. 3).

В период 1880—1940 годов особенно сильное потепление произо-

шло в высоких северных широтах, в частности в Арктическом бассейне, на Аляске, в центральной Канаде, в Гренландии, на северном берегу Азии. Потепление, превышающее $0,5^{\circ}$ С, отмечалось и в более низких широтах: на большей части территории США, Китая, в некоторых районах Южной Америки и Африки.

Неожиданно прервавший это потепление период похолодания 1940—1965 годов особенно сильно проявился опять-таки в высоких северных широтах, прежде всего на Аляске, севере Канады и северо-западе Гренландии и на Азиатском побережье Северного Ледовитого океана.

Последующее потепление 1965—1985 годов проявляется почти повсеместно, особенно резко на Аляске, севере Канады и севере Азии, а также в индоокеанском секторе Антарктиды (с похолоданиями лишь в южной Гренландии и еще в нескольких небольших регионах).

Анализ средних месячных температур показывает, что общее потепление за столетие было наибольшим в зимние месяцы, особенно в высоких широтах. Результатом этого было ослабление сезонных колебаний температуры, т. е. смягчение климата, которое особенно заметно проявилось в период потепления первой половины XX века. В период текущего потепления сезонность меняется сравнительно мало.

Ступенчатые кривые на рис. 2 показывают, что происходят не только медленные изменения, охватывающие десятилетия, но и быстрые изменения температуры от года к году. Разность температур последующего и предыдущего годов в течение столетия изменялась в пределах $\pm 0,40^{\circ}$ С

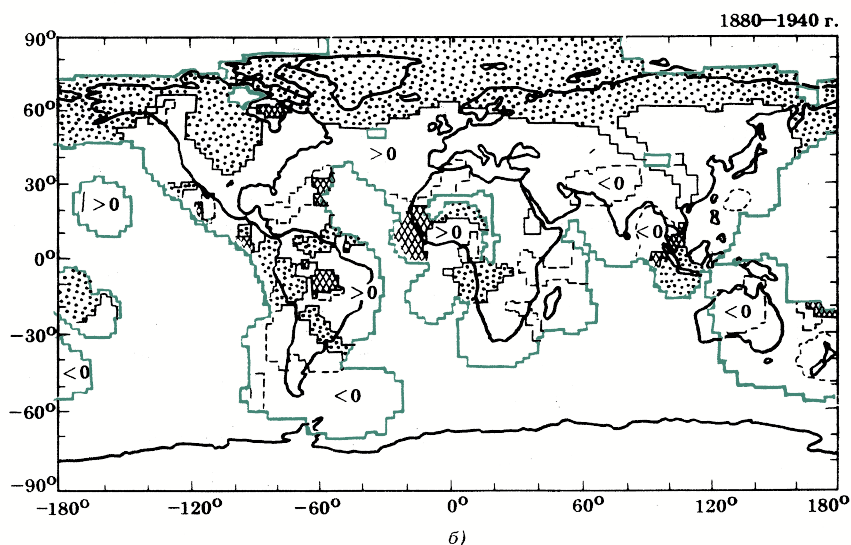
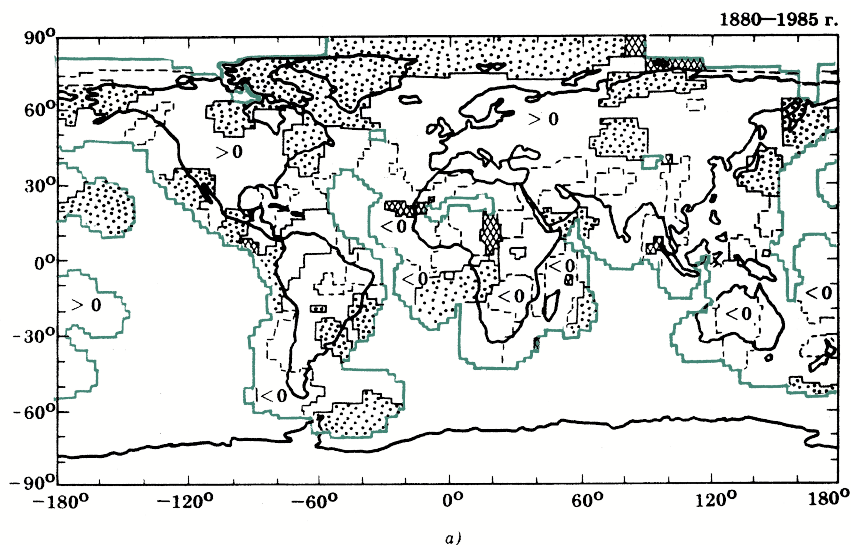
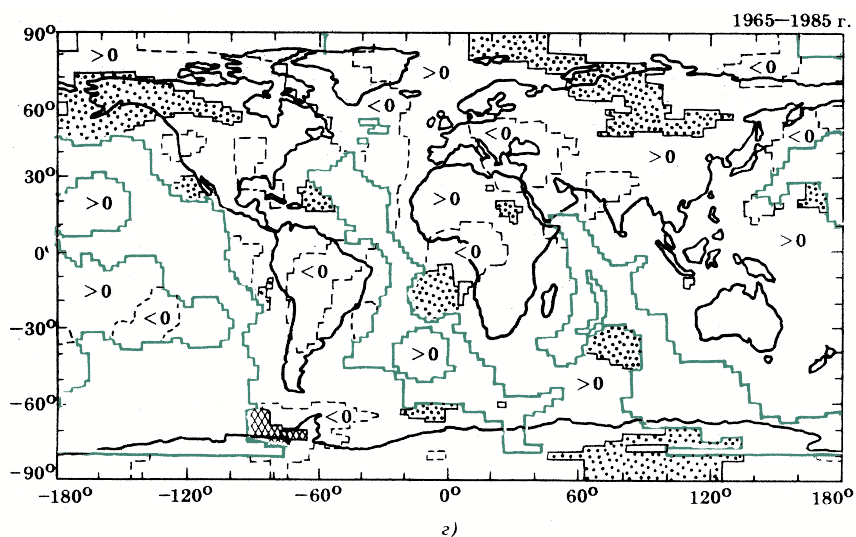
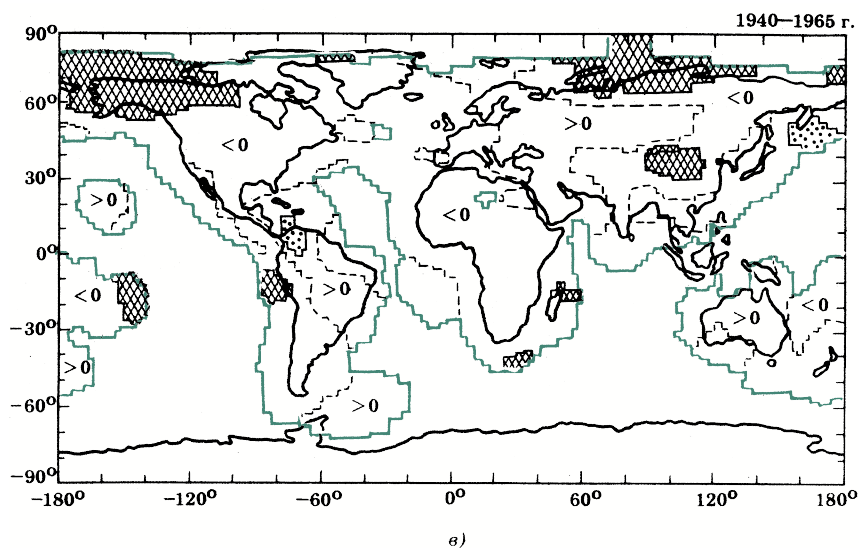


Рис. 3. Географическое распределение величины изменения температуры: а — за весь период 1880—1985 годов; б — за 1880—1940 годы; в — за 1940—1965 годы; г — за 1965—1985 годы

Контурная линия голубого цвета отделяет области, обеспеченные и необес-



печенные данными наблюдений; прерывистая кривая — линия нулевых изменений, разделяющая области потепления от областей похолодания; области, обозначенные точечной и перекрестной штриховкой, характеризуются соответственно существенным потеплением (1°C) и существенным похолоданием (-1°C)

(среднее из абсолютных значений этих разностей составляет $0,12^{\circ}\text{C}$), т. е. таких же, как и внутривековые климатические колебания, налагая на последние сравнимый с ними «шум». В половине случаев указанные разности попадают в пределы $\pm 0,10^{\circ}\text{C}$. Отметим, что в периоды климатических максимумов и минимумов 1935—1945 годов и 1960—1970 годов этот «шум» ослабевал (до среднего абсолютного значения $0,07$ — $0,10^{\circ}\text{C}$), а в переходные периоды он возрастал (до $0,14$ — $0,16^{\circ}\text{C}$), т. е. климат изменялся не монотонно, а как фон усиливающихся «вибраций» климатической системы. Во время текущего потепления такие «вибрации» достигли максимальных значений за столетие. Среднее абсолютное значение межгодовых разностей температуры достигло $0,18^{\circ}$ за десятилетие 1974—1983 годов, а затем, по-видимому, стало уменьшаться. По крайней мере в десятилетие 1978—1987 годов оно составило $0,14^{\circ}\text{C}$.

Хотя температура воздуха является важнейшей характеристикой, она, конечно, не исчерпывает понятия климата, для описания которого (и соответственно его изменений) важно знать целый ряд других характеристик: **влажность воздуха, облачность, осадки, скорости воздушных течений и т. д.** К сожалению, данных, которые характеризовали бы изменения этих величин за длительный период в масштабах всего земного шара или полушарий, в настоящее время нет или очень мало. Работы по сбору, обработке и анализу таких данных ведутся, и есть надежда, что в скором времени можно будет более полно оценить изменения климата в XX веке.

Лучше других, по-видимому, об-

стоит дело с данными об **осадках**, хотя эта характеристика климата весьма трудно поддается глобальному объективному анализу. Причины этого — не только малое количество и неравномерное географическое распределение измерений осадков, но и пестрое распределение самих осадков в пространстве. Исследователям иногда приходится прибегать к анализу не самих сумм осадков, а некоторых специально построенных индексов осадков, у которых эти недостатки отсутствуют или менее ярко выражены.

На рис. 4 показаны изменения такого индекса годовых осадков в континентальных районах Северного полушария, полученные Р. Брэдли и др. (1987). Эти авторы не смогли построить такой график для всего земного шара из-за недостаточного количества измерений в океанских районах и в Южном полушарии.

Показанный индекс представляет собой среднее из процентилей во всех точках равномерной сетки (отстоящих друг от друга на 400 километров), где в данном году имеются интерполированные суммы осадков. Процентиль — это число лет с осадками меньше данного значения суммы осадков, выраженное в процентах и увеличенное на единицу. Соответственно число лет с осадками больше данной суммы, выраженное в процентах, равно дополнению к значению данного процентиля до 100. Например, значение 60 на оси абсцисс на рис. 4 означает, что в 59 процентах случаев осадков было меньше, чем в году, соответствующем этому значению. Вертикальная пунктирная линия соответствует 1883 году, когда количество использованных данных достигло 50 процентов от максимального.

На рисунке хорошо видны как быстрые, так и медленные колебания с периодами в десятки лет. С конца 1870-х годов и прибли-

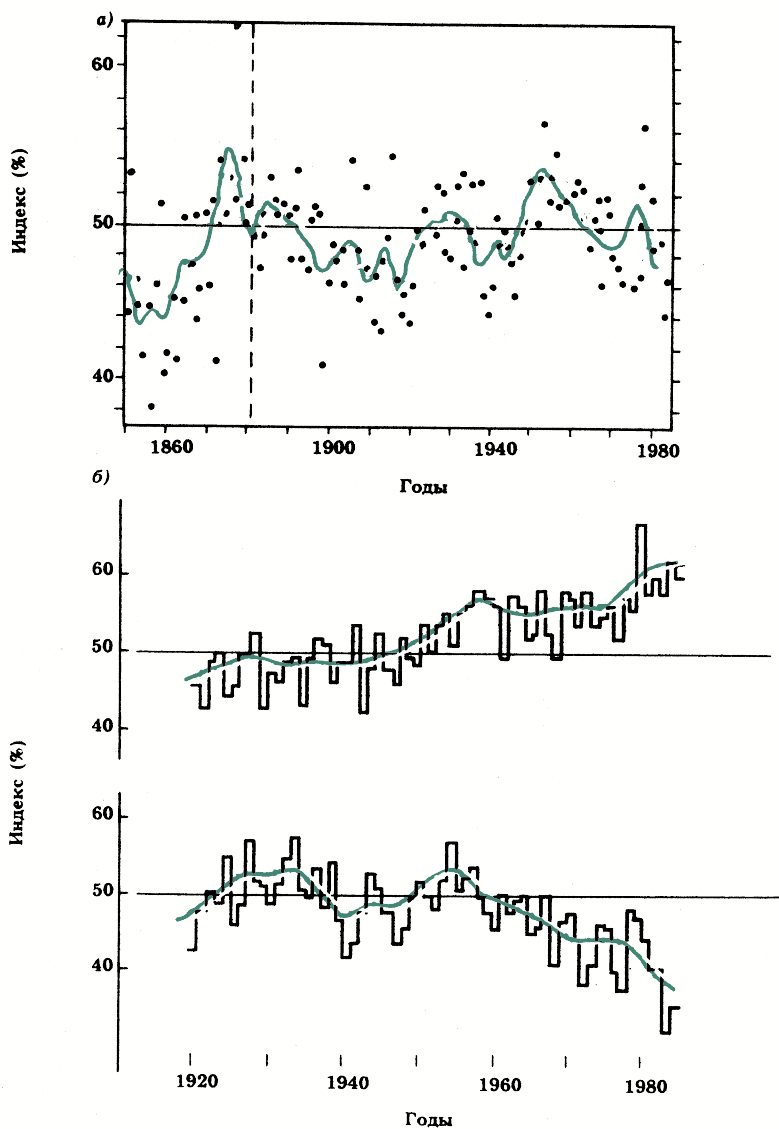


Рис. 4. Изменения индекса годовых осадков: а — для континентальных районов Северного полушария за 1850—1984 годы; б — для широтных зон 35—70° северной широты (в середине) и 5—35° северной широты за 1920—1984 годы (внизу) (Р. С. Брэдли и др., 1987)

зительно до 1920 года индекс осадков понизился на 8, что свидетельствует о повышении сухости континентального климата Северного полушария. Затем произошло возрастание индекса, который в начале 1950-х годов достиг высокого уровня, наблюдавшегося в конце 1870-х годов. При этом отмечался промежуточный максимум, приходившийся на 1930 год. После пика 1950-х годов последовало новое уменьшение индекса вплоть до конца 1970-х и середины 1980-х годов (с частным максимумом в районе 1979 года). Весьма примечателен период с 1949 по 1964 год, когда осадки все время были более обильными, чем в среднем. Другой период почти такой же длительности 1939—1949 годы (за исключением близкого к норме 1942 года) был более сухим, чем в среднем. Экстремальные годы часто следуют друг за другом. Таковы, например, четыре исключительно влажных года — 1953, 1954, 1956 и 1957 или исключительно сухие годы — 1918, 1919 и 1920, следовавшие вскоре после пары сухих лет 1912 и 1913, или также очень сухие 1939, 1940 и 1941 годы.

Если рассматривать весь период, для которого получена кривая, то у осенних и зимних осадков обнаруживается тенденция к повышению, тогда как в весенних и летних осадках никакой определенной тенденции не просматривается. С другой стороны, если не рассматривать начало ряда, базирующееся на недостаточном количестве данных, то у весенних и летних индексов можно заметить тенденцию к понижению с 1880-х до конца 1920-х годов и их последующее увеличение. Выделяются два сухих во всех сезонах периода (1912—1922, 1938—1948)

и один период, когда все четыре сезона были более влажными, чем в среднем (1950-е годы).

Брэдди и др. построили также эти индексы в трех широтных зонах Северного полушария 0—5°, 5—35° и 35—70° северной широты. Если рассматривать только периоды, когда количество данных достигло половины максимального (для этих трех зон они начинаются соответственно с 1901, 1895 и 1877 годов), то следует отметить отсутствие какого-либо тренда в приэкваториальной зоне. Уменьшение осредненного индекса в этой зоне в последние пять лет (1979—1984 годы) пока что вряд ли можно считать указанием на долгосрочную тенденцию. В тропической и субтропической зоне (рис. 4) с середины 1950-х годов появилась ярко выраженная тенденция к уменьшению индекса осадков, которая, несомненно, связана с известной длительной засухой в Северной Африке. В умеренной и субполярной зоне (35—70° северной широты) с 1920-х годов заметна тенденция к повышению индекса осадков. Вместе с уменьшением в более южной зоне это может говорить о некотором смещении климатических поясов в последние годы.

Заканчивая обсуждение результатов Брэдди и соавторов, нельзя не высказать критических замечаний относительно справедливости их выводов. Дело в том, что авторы, придумав искусственный индекс, избавились от одних трудностей, но внесли тем самым новые. Предложенные ими индексы хороши, когда речь идет об осадках в каком-либо одном пункте или относительно небольшом районе с однотипным режимом осадков. В этом случае можно считать, что индекс пропорционален количеству осадков. Однако при глобальном осреднении, когда в качестве слагаемых используются индексы для районов с разными режимами

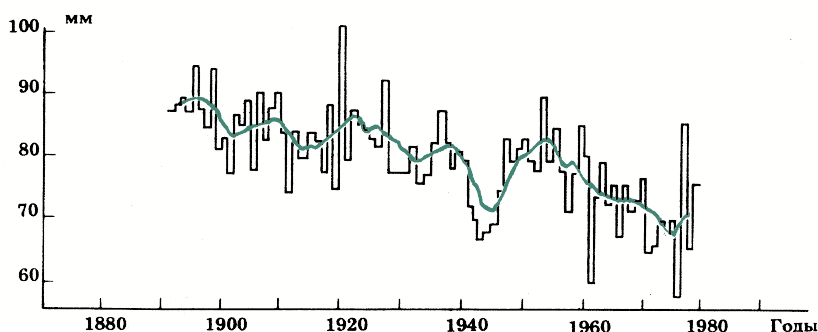


Рис. 5. Изменение осадков в Северном полушарии (по данным Г. Грузы, Е. Апасовой, 1982). Полусуммы месячных осадков в январе и июле. Кривая получена скользящим пятилетним осреднением

осадков, может получиться, что значение области с малыми осадками будет преувеличено, а области с большими осадками, наоборот, преуменьшено, т. е. пропорциональность между индексом и осадками будет нарушена. Поэтому кривая Брэдли и соавторов для полушария вызывает гораздо меньше доверия, чем их кривые для отдельных регионов или широтных зон.

По данным К. Я. Винникова и др. (1989), годовые суммы осадков в Северном полушарии в зоне 35—70° северной широты в течение последних 100 лет увеличивались (в том числе в СССР и Северной Америке). В то же время в Европе южнее 55° северной широты наблюдалась тенденция к уменьшению осадков. Это в целом согласуется с выводами Брэдли и др.

На рис. 5 показан многолетний (1891—1979 годы) ход полусуммы количества осадков в двух месяцах — январе и июле — в Северном полушарии между 0 и 85° северной широты. Рисунок демонстрирует тенденцию к понижению осадков на протяжении всего столетия. Выделяются частный минимум 1940-х годов и частные максимумы начала 1920-х, конца 1930-х, 1950-х годов. Утверждать, что таким же образом должны бы-

ли изменяться годовые суммы осадков, мы не можем. Интересно тем не менее отметить, что почти все частные максимумы и минимумы данной кривой близки к частным максимумам и минимумам кривой Брэдли и соавторов, хотя последняя не обнаруживает какой-либо четкой тенденции, если рассматривать весь период.

Важная характеристика климата — **облачность**, которая в значительной степени определяет приток солнечной энергии. К сожалению, данных об изменении глобальной облачности за весь столетний период не имеется. По данным наблюдений со спутников за период 1966—1985 годов, т. е. в период текущего потепления, отмечается некоторое увеличение количества облаков в обоих полушариях. Так, скорость увеличения облачности в Северном полушарии составила 6 процентов, в южном — 11 процентов за десятилетие. Однако увеличение облачности произошло не повсеместно, имеются районы (например, Северная Америка, Австралия, северо-восток Азии), где в этот период произошло уменьшение облачности.

Как видно, надежные выводы относительно вековых изменений осадков и облачности в Северном полушарии сделать весьма трудно, а для всего земного шара пока еще невозможно. Остается надеяться, что в будущем можно будет определять глобальную облачность и количество осадков с помощью наблюдений с метеорологических спутников.

Среди индикаторов изменений климата, которые как бы суммируют эффекты многих климатических факторов, необходимо упомянуть **уровень Мирового океана**, а также уровень ряда внутренних водоемов.

Согласно исследованиям, проведенным различными авторами, за последние сто лет уровень океана повысился на 10—15 сантиметров, что связано, с одной стороны, с таянием материковых льдов, а с другой — с расширением морской воды вследствие нагревания. Некоторые авторы утверждают, что после максимума 1950-х годов началось понижение уровня, другие — что в 1950—1960-х годах уровень фактически не менялся, но затем рост опять возобновился.

Уровень внутренних водоемов отражает изменения климата на

территории всего водосборного бассейна. На рис. 6 показаны изменения уровня Каспийского моря, который с конца прошлого века до 1933 года слабо понижался, испытывая в то же время колебания в ту и другую сторону, а к 1940 году произошло резкое падение уровня на 1,5 метра. Затем уровень продолжал медленно понижаться и достиг минимума в 1977 году, упав с конца прошлого века более чем на 3 метра. После этого в течение десяти лет (1978—1987) уровень повысился на 1,2 метра, достигнув уровня 1940-х годов.

С. Родионов считает, что в рассматриваемой части климатической системы имеются два устойчивых состояния, а переходы из одного в другое происходят резко. Рисунок как будто подтверждает этот вывод, особенно если обратить внимание на прерывистую кривую, показывающую, каким был бы уровень, если бы забор воды для хозяйственных нужд не увеличивался. По данным С. Родионова, средний годовой сток рек в Каспийском море (78 процентов приходится на Волгу) в период 1878—1936 годов составлял 331 кубокилометр, в 1937—1977 годах — 272 кубокилометра, а в 1978—1987 годах — 307 кубокилометров.

Итак, в XX веке произошло значительное потепление на Земле.

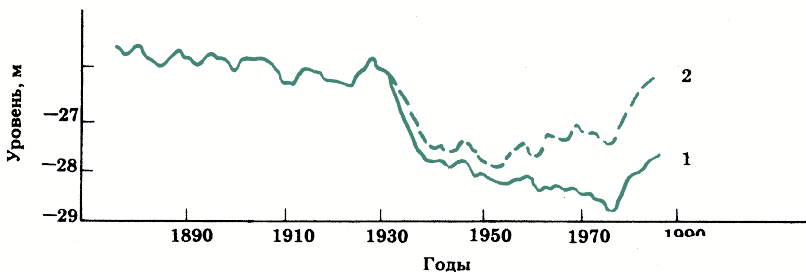


Рис. 6. Изменение уровня Каспийского моря (1) за 1880—1988 годы. Кривая (2) построена в предположении постоянства забора воды на хозяйственные нужды из рек, питающих Каспийское море

В настоящее время глобальные температуры достигли наивысшего уровня за весь период инструментальных измерений. Естественно, возникает вопрос, можно ли считать это потепление беспрецедентным, если рассматривать более далекое прошлое.

Уже говорилось о больших отклонениях температуры от современных значений 3—5 миллионов лет назад и во время последнего оледенения 18 тысяч лет назад. Эти колебания могли быть связаны с изменениями во взаимном расположении океанов и материков, химического состава атмосферы, характеристик орбиты движения Земли вокруг Солнца. Однако и в течение последнего тысячелетия, когда такие объяснения исключены, происходили существенные изменения климата.

Известно, что в период 900—1300 годов климат был более теплым, чем в настоящее время. Самые различные данные (исторические хроники, археологические раскопки, анализ последовательности геологических слоев, в частности ископаемых почв, радиоуглеродный, пыльцевой анализ, анализ ширины годичных древесных колец и т. п.) свидетельствуют, что это потепление охватывало все Северное полушарие. Хотя данных по Южному полушарию недостаточно, имеющиеся данные (например, скорость накопления снега в Антарктиде, появление первых крупных колоний пингвинов и др.) говорят о глобальном характере этого потепления. Температура воздуха в средних широтах Северного полушария была по крайней мере на градус выше, чем в настоящее время, а в высоких широтах максимальное превышение температуры доходило до 5°. Именно

поэтому в тот период викингам удалось колонизировать Гренландию (и она тогда получила свое название, которое означает «зеленая страна»). Они смогли достичь Ньюфаундленда и основать там поселение, первыми из европейцев задолго до Колумба открыв, таким образом, Американский континент.

Другой яркий пример крупных климатических изменений — последовавшее за «эпохой викингов» похолодание, получившее название «малого ледникового периода». Это похолодание, начавшееся в XIII—XIV веках, достигло максимальной величины в XVI—XVII веках и продолжалось с небольшими перерывами примерно до середины XIX века. Оно хорошо документировано летописями, дневниками и даже живописью того времени. В этот период наступление ледников отмечалось в Альпах, Скандинавии и Исландии, в Северной и Южной Америке, в Новой Зеландии. Увеличилась область распространения дрейфующих морских льдов, в связи с чем участились случаи длительной ледовой блокады берегов Исландии (до 15—26 недель против 0—4 недель в «эпоху викингов»), нарушилась связь с гренландскими поселениями, которые вскоре погибли. Отмечались необычные случаи замерзания нижнего течения Роны, Генуэзского залива, всего Балтийского моря и частично Северного моря, гавани Нью-Йорка. Снеговая линия в горах в центральной Европе понизилась на 200 метров, на острове Баффинова Земля — на 200—400 метров, появились и по несколько месяцев сохранялись снежные шапки в горах Эфиопии. Скорость снегонакопления в Антарктиде вслед-

ствие господства мощного холодного антициклона уменьшилась, достигнув минимума в 1657—1686 годах (максимумы скорости снегонакопления в 1057—1086 и в 1867—1896 годах были связаны, наоборот, с потеплением в результате влияния циклонов). Эти и другие многочисленные свидетельства вместе с начавшимися во второй половине XVII века инструментальными измерениями температуры (в Англии) говорят о глобальном характере похолодания. Средняя глобальная температура в этот период понижалась на $1\text{—}2^\circ$ по сравнению с современной.

Мы еще достоверно не знаем причин изменений климата, в том числе современных. Поэтому давать прогнозы изменений климата в будущем весьма рискованно. В связи с этим можно напомнить о прогнозах, которые давались в конце периода потепления 1890—1940 годов, о том, что потепление будет продолжаться, и в 1950-х годах Арктика освободится ото льда. Эти прогнозы не оправдались. В конце периода похолодания 1940—1965 годов появились авторитетные высказывания о приближении ледникового периода. Но похолодание не случилось нынешним потеплением. Сейчас даются прогнозы о том, что к середине XXI века климат Земли будет похож на теплый климат плиоцена. И хотя наши знания о климате и механизмах его изменения существенно возросли, все же возникает вопрос: не ожидается ли и этот прогноз судьба предыдущих?

Парниковый эффект

Сейчас широко распространено мнение, что потепление XX века обязано парниковому эффекту,

вызванному увеличением содержания углекислого газа в атмосфере благодаря сжиганию ископаемого топлива. Утверждается, что это потепление будет непрерывно продолжаться и в будущем. Потепление же на несколько градусов может привести к серьезным изменениям всей экологической системы Земли, а то и к ее разрушению (так считают некоторые авторы).

Насколько обосновано это мнение? Действительно ли можно считать главной причиной потепления XX века создаваемое человеком возрастание содержания в атмосфере углекислого газа?

Поток лучистой энергии Солнца на перпендикулярную лучам площадку на верхней границе атмосферы имеет интенсивность около 1360 ватт на квадратный метр, или 1,95 калории на квадратный сантиметр в минуту (солнечная постоянная). Он определяется расстоянием до Солнца и температурой его излучающей поверхности, которая приблизительно равна 6000° . Последняя определяет и распределение интенсивности солнечного излучения по различным длинам электромагнитных волн. На верхней границе атмосферы 99 процентов всей солнечной энергии приходится на диапазон длин волн от 0,15 до 4 микрон с максимумом на 0,474 микрон (синий цвет). Поскольку Земля шарообразна, вращается, и Солнцем освещается одновременно лишь половина ее поверхности, средняя величина интенсивности солнечной энергии, падающей на горизонтальную площадку на верхней границе атмосферы, составляет четверть от солнечной постоянной, или 340 ватт на квадратный метр. Часть солнечной энергии отража-

ется в космическое пространство (доля отраженной энергии называется альбедо и составляет в настоящее время для Земли приблизительно 0,28, из которых 0,22 приходится на облачность). Остальная поглощается подстилающей поверхностью Земли, превращаясь главным образом в тепловую энергию. Эта часть энергии солнечного облучения равна 238 ватт на квадратный метр. В свою очередь, поверхность Земли, как и всякого нагретого тела, также излучает энергию, но интенсивность излучения составляет уже 390 ватт на квадратный метр (при фактической температуре поверхности 288°K), причем 99

процентов энергии излучения приходится на диапазон длин волн от 4 до 80 микрометров с максимумом излучения около 10 микрометров. Таким образом, распределения солнечного и земного излучения фактически не перекрываются, что можно видеть на приводимом рис. 7.

Если внезапно удалить земную атмосферу, то начнется быстрое охлаждение поверхности Земли, пока излучаемая ею энергия не сравняется с поступающей солнечной энергией. При этом температура поверхности понизится до $-18,7^{\circ}\text{C}$. Разность между фактически наблюдаемой температурой и этой величиной, равная прибли-

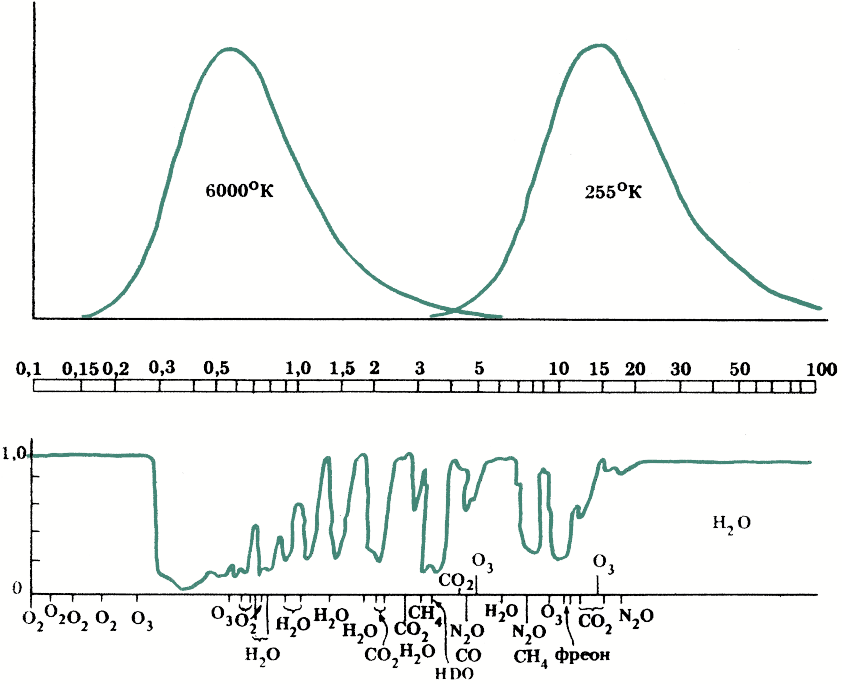


Рис. 7. Нормированные спектры солнечного и атмосферного излучения, функция поглощения атмосферы и основные оптически активные составляющие атмосферы

зительно 34°, и составляет парниковый эффект.

Парниковый эффект возникает вследствие способности некоторых атмосферных газов пропускать коротковолновую солнечную радиацию и поглощать и переизлучать длинноволновую земную радиацию.

Некоторые ученые считают, и не без оснований, что это явление правильнее было бы называть просто атмосферным эффектом, так как аналогия с парником или теплицей неточная. Хотя стекло, покрывающее парник, действительно по-разному пропускает коротко- и длинноволновое излучение, этот эффект в 4—5 раз меньше эффекта стекла, как препятствия перемещиванию теплого парникового воздуха с наружным. Тем не менее термин «парниковый эффект» укоренился и широко применяется.

И объяснить, и понять реакцию атмосферы на излучение, пронизывающее ее, проще, если рассматривать излучение как поток неких специфических частиц (фотонов), несущий порции энергии (кванты), которые при данной частоте или длине волны излучения минимально возможны. Энергия фотонов обратно пропорциональна их длине. Наиболее энергичные фотоны в основном поглощаются уже в самых верхних разреженных слоях атмосферы, приводя к ионизации и различным фотохимическим реакциям.

Газы, входящие в состав атмосферы, по-разному взаимодействуют с фотонами, несущими разные порции энергии (т. е. с излучением разных длин волн). Это зависит прежде всего от строения молекул газа. Так, молекулы азота, главной составляющей атмосферного воздуха, практически нейтральны по отношению как к длинноволновому, так и коротковолновому излучению. Молекулы других газов, сталкиваясь с фотонами и поглощая некоторые из них, могут получать дополнитель-

ное колебательное или вращательное движение, переходя в другие энергетические состояния. Атмосферные газы, которые наиболее активно взаимодействуют с излучением, — это прежде всего водяной пар, углекислый газ, молекулярный кислород и озон. Фотоны каких именно энергий или излучение каких именно длин волн поглощаются тем или иным газом, а также насколько эффективно это поглощение, показывают так называемые спектры поглощения. Они же показывают, какие газы и в какой степени формируют излучение самой атмосферы. Как правило, спектры поглощения сложны и состоят из полос поглощения сложной структуры.

На рис. 7 вместе со спектрами солнечного и земного излучения изображена функция поглощения современной атмосферы, а также указаны основные оптически активные газы. Кривая показывает поглощательную способность и зависит не только от строения молекул того или иного газа, но и от его содержания в атмосфере. При этом с ростом содержания происходит не только рост ординаты в центральной части соответствующей полосы, но и расширение полосы, в результате чего количество поглощаемой энергии увеличивается, происходит нагревание, и соответственно увеличивается собственное излучение атмосферы (расширение полос обязано в значительной мере молекулам азота, которые, хотя сами оптически нейтральны, имеют высокую концентрацию в атмосфере и поэтому активно взаимодействуют друг с другом и с молекулами оптически активных газов и при этом взаимодействии поглощают дополнительные количества энергии).

Из рисунка хорошо видна природа парникового эффекта, а также роль каждого из оптически активных газов. В поглощении коротковолнового излучения важную роль играют молекулярный кислород, озон и водяной пар, тогда как в поглощении земного излучения основное значение имеют водяной пар, углекислый газ и озон. Некоторые полосы поглощения, в том числе водяного пара, углекислого газа, закиси азота, метана, приходится на участки, где интенсивность излучения невелика, и поэтому вклад этих полос в парниковый эффект незначителен, несмотря на большую интенсивность этих полос.

Согласно расчетам К. Я. Кондратьева и Н. И. Москаленко, современный парниковый эффект, который они оценивают в $\Delta T = 33,2^\circ\text{K}$, строится из следующих вкладов оптически активных газов: водяной пар — $20,6^\circ$ (62 процента), углекислый газ — $7,2^\circ$ (1,7 процента), озон — $2,4^\circ$ (7,2 процента), закись азота — $1,4^\circ$ (4,2 процента), метан — $0,8^\circ$ (2,4 процента), остальные газы (аммиак + фреоны + четыреххлористый углерод + закись азота + молекулярный азот) — $0,8^\circ$ (2,4 процента).

Из рисунка можно видеть, что на область, близкую к пику земного излучения (9—12 микрометров), приходится так называемое «атмосферное окно» — область длин волн, через которую земное излучение ускользает в космическое пространство. Поэтому некоторые газы, обязанные своим появлением в атмосфере в основном человеческой деятельности и имеющие полосы поглощения в этом «окне», начинают играть заметную роль в парниковом эффекте. Это метан, закись азота, фреон, аммиак. Их эффективность в ряде случаев значительно превышает даже эффект угле-

кислого газа, спектр поглощения которого уже довольно близок к насыщению. Так, по В. Раманатану, добавление в современную атмосферу одной молекулы фреона может иметь такой же эффект, как добавление 10 000 молекул углекислого газа. Как бы то ни было, в настоящее время считается, что эффект этих парниковых газов начинает сравниться с эффектом углекислого газа.

Выше приводились относительные вклады оптически активных газов в современный парниковый эффект. Однако при рассмотрении вклада в повышение температуры соотношение между газами несколько изменяется. Так, по оценкам для периода 1880—1980 годов, вклад углекислого газа составлял 66 процентов, метана — 15, фреонов — 8, закиси азота — 3, остальных газов — 8 процентов. В 1980-х годах вклад углекислого газа в потепление составил 49 процентов, метана — 18, фреонов — 14, закиси азота — 6, остальных газов — 13 процентов. Согласно тому же Раманатану, рассчитавшему с помощью простой модели повышение температуры воздуха от 1980 до 2030 года, при современном темпе роста содержания оптически активных газов повышение температуры, обусловленное углекислым газом, составит $0,7^\circ$ при суммарном повышении $1,5^\circ$. На втором месте, согласно этим расчетам, стоят фреоны (вклад в повышение $0,37^\circ$), затем озон, аммиак и остальные газы.

Сложность в оценке изменения парникового эффекта при изменении содержания того или иного газа заключается также в том, что в системе атмосфера — океан — суша имеются многочисленные обратные связи, как положительные, так и отрицательные. Так, при увеличении содержания углекислого газа и как следствие повышении температуры должно происходить усиление испарения и соответственно увеличение содержания водяного пара, который, в свою очередь, поглощает допол-

нительную энергию и приводит к новому повышению температуры. Кроме того, при повышении температуры растворимость углекислого газа ухудшается, и из океанов в атмосферу выделяются дополнительные количества углекислого газа, которые приводят к дальнейшему повышению температуры. По некоторым расчетам, подобные обратные связи могут изменить вклады отдельных газов на множители от 0,8 до 2,6.

Вместе с тем, оценивая роль парникового эффекта в изменениях климата (скажем, температуры), нельзя забывать, что имеются также важные обратные связи, которые не включают парниковый эффект. Примером может служить взаимодействие атмосферы и океана или альбедный механизм изменения температуры. Тепловое воздействие океана на атмосферу изменяет движения воздуха, что, в свою очередь, управляет движением верхнего слоя океана, изменяя это тепловое воздействие. Так, широко известное явление Эль Ниньо заключается в ослаблении пассатных ветров в тропиках Тихого океана, что приводит к ослаблению подъема холодных вод и прогреву в восточной части этого океана и к различным аномалиям (например, засухам) в ряде регионов земного шара. Уменьшение (увеличение) планетарного альбедо (которое на 70 процентов определяется облаками) непосредственно приводит к увеличению (уменьшению) усваиваемого количества солнечной энергии и потому, по-видимому, к потеплению (похолоданию) климата.

Вопрос о возможном влиянии содержания углекислого газа на радиационный (и, следовательно, тепловой) бюджет системы атмосфера — земная поверхность

возник более ста лет назад. В 90-х годах прошлого столетия появилась гипотеза Аррениуса — Чемберлена, связывающая изменения климата с колебаниями содержания атмосферного углекислого газа и, в частности, объясняющая ими происхождение ледниковых периодов. В 1940 году Каллендер, собрав разрозненные измерения содержания углекислого газа в атмосфере, обнаружил его устойчивое повышение между 1880 и 1935 годами. Регулярные измерения его содержания начались только в 1958 году во время проведения Международного Геофизического года первоначально на станции Мауна Лоа на острове Гавайи в тропической северной части Тихого океана. В настоящее время действует уже более десятка фоновых станций, расположенных в различных районах земного шара, как правило, вдали от искусственных источников поступления углекислого газа.

На рис. 8, где показаны изменения объемной концентрации углекислого газа в миллионных долях объема за весь период наблюдений на Мауна Лоа с 1958 по 1988 год, видно наличие, с одной стороны, сезонных колебаний с амплитудой в 5 частей на миллион, с другой — долгопериодное изменение, составившее в среднем за весь период 1,1 части на миллион в год, но заметно растущее со временем (от 0,64 части на миллион в 1960—1965 годах до 1,55 части на миллион в год в 1980—1984 годах). Сезонные колебания имеют очень регулярный характер с длительным (за семь месяцев) ростом концентрации от начала осени до весны и более коротким (за пять месяцев) уменьшением концентрации от весны до конца лета. К северу амплитуда сезон-

ных колебаний увеличивается и достигает максимума в Арктике (в Барроу на Аляске до 20 частей на миллион), где к эффекту, связанному с развитием растительности, добавляется эффект поглощения освободившимися ото льда летом холодными водами арктических морей. Эти колебания определяются прежде всего сезонным циклом развития растительности (в первую очередь лесов) в умеренных широтах Северного полушария. К экватору амплитуда сезонных колебаний уменьшается и в Южном полушарии составляет около 2 частей на миллион, практически не меняясь с широтой. Что касается долгопериодного изменения, то оно в общих чертах одинаково в различных широтах, причем различия в средних годовых значениях на разных широтах не превышают 4—5 частей на миллион.

Чтобы понять причины долгопериодного увеличения содержания углекислого газа в атмосфере, необходимо знать его источники и стоки. Значит, необходимо знать количество углерода в каждом из резервуаров, связанных с атмосферой (океан, биосфера, воды и почвы суши, горючие полезные ископаемые, известковые породы), а также потоки углекислого газа между этими резервуарами и атмосферой. Иными словами, надо знать во всех тонкостях круговорот углерода в системе океан — атмосфера — суша — биосфера. Но сегодня еще нельзя сказать, что мы это достаточно хорошо знаем. Причина тому — сложность круговорота, состоящего из большого количества взаимосвязанных циклов, многообразие и в то же время слабая изученность природных процессов, обуславливающих круговорот.

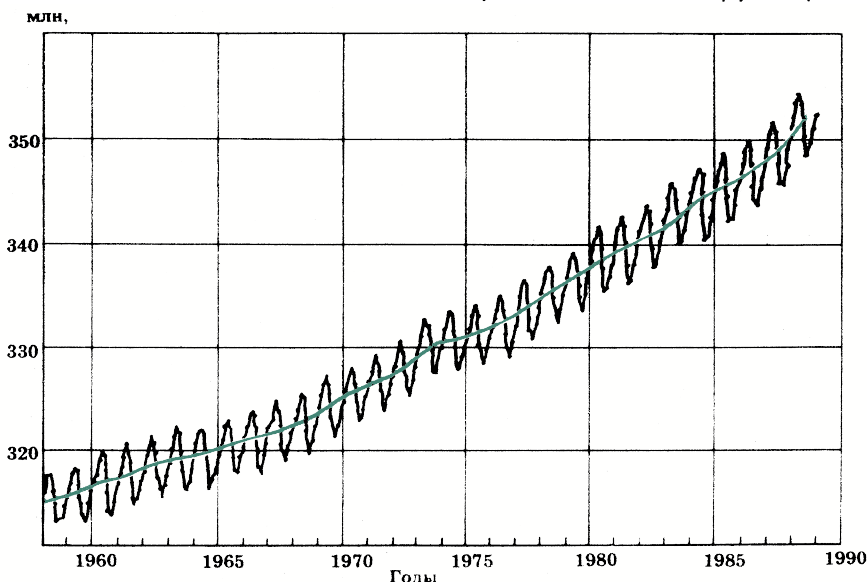


Рис. 8. Изменения объемной концентрации углекислого газа в атмосфере по измерениям в Мауна Лоа, Гавайи

В настоящее время объемная концентрация углекислого газа в атмосфере равна 350 частям на миллион (1988), что соответствует 0,747 тератонны (1 тератонна — это тысяча миллиардов тонн, 1000 частей на миллион \approx 2,134 тератонны) углерода. Около 85 процентов углекислого газа находится в тропосфере, остальные 15 процентов — в стратосфере. Допромышленный уровень оценивается в 290—295 частей на миллион (1860), или 0,619—0,629 тератонны углерода, т. е. прирост за 128 лет составил 0,118—0,128 тератонны, или около 20 процентов от допромышленного уровня. На содержащийся в настоящее время в атмосфере метан (1,7 части на миллион в 1985 году) приходится всего 0,0036 тератонны углерода.

В Мировом океане содержится порядка 40 тератонн углерода, т. е. в 54 раза больше его количества в атмосфере. Подавляющая часть (95—96 процентов) находится в растворе в неорганических формах, значительно меньше приходится на растворенные органические вещества (4—5 процентов), и совсем ничтожные количества приходятся на неживую органическую взвесь и живые организмы (сотые и тысячные доли процента соответственно). Растворенный в океанических водах углекислый газ частично образует слабую угольную кислоту, которая в растворе распадается, образуются бикарбонатные и карбонатные ионы. Состояние этой так называемой карбонатной системы, а с ней и степень насыщенности воды углекислым газом (его растворимость) зависит от давления, температуры и солености. Растворимость уменьшается с повышением температуры воды, благодаря чему холодные при-

полярные воды океана должны играть роль стока для атмосферного углекислого газа, а теплые тропические и экваториальные воды, наоборот, источником его. Понятно, что летнее прогревание вод ведет к выделению этого газа в атмосферу, а осенне-зимнее охлаждение, наоборот, к поглощению водами из атмосферы. Холодные поверхностные течения, неся воды к экватору и прогреваясь, выделяют этот газ в атмосферу, теплые течения, идущие к полюсам, наоборот, становятся стоком для атмосферного газа. Большое значение для судьбы углекислого газа в океане, а следовательно для обмена с атмосферой, может иметь выпадение в осадок или растворение карбоната кальция.

Современные оценки потоков углекислого газа из океана в атмосферу и обратно составляют соответственно 100 и 104 гигатонны углерода за год с результирующим поглощением океаном 4 гигатонн углерода (1 гигатонна — это миллиард тонн).

Значительно больший разбой имеется в оценках емкости резервуаров на суше. Один из таких резервуаров — почва, содержащая гумус — органическое вещество, образующееся при разложении остатков отмерших растительных и животных организмов. По современным оценкам, в почвах содержится 1,5—2 тератонны углерода, т. е. в 2—3 раза больше, чем в атмосфере. При постепенном окислении гумуса углекислый газ выделяется из почвы в атмосферу со скоростью, приблизительно равной скорости накопления отмирающего органического вещества. Эту скорость можно в среднем оценить в 50 гигатонн углерода в год.

Оценки биомассы растительности варьируют от 0,5—0,6 до 0,828 терадонны углерода, причем около 90 процентов биомассы составляют леса (40 процентов приходится на тропические влажные леса). В светлое время суток в процессе фотосинтеза растения поглощают углекислый газ из атмосферы и таким образом наращивают свою массу. При дыхании (а растения дышат и днем, и ночью), наоборот, происходит выделение углекислого газа в атмосферу, но в несколько меньшем количестве, чем поглощение при фотосинтезе. Разность между этими величинами определяет прирост биомассы, а в случае равновесных условий в точности равняется накоплению отмирающего органического вещества в почве. Можно сказать, что в среднем благодаря фотосинтезу углекислый газ извлекается из атмосферы в количестве, эквивалентном 100 гигатоннам углерода в год, и возвращается в атмосферу при дыхании 50 гигатонн углерода в год. Это значит, что в среднем растительность служит стоком для атмосферного углекислого газа.

Емкость резервуара, который образуют горючие полезные ископаемые (уголь, нефть, сланцы, газ), оценивается в 5—10 терадонн углерода. В эту оценку включены не только разведанные и пригодные для эксплуатации при современной технологии запасы, которые по количеству сравнимы с атмосферой и биосферой (растительностью), но и прогнозируемые запасы. С началом промышленной эпохи, которое обычно относят к 1860 году, растет с ускорением поступление в атмосферу углекислого газа, образующегося при сжигании ископаемого топли-

ва. В настоящее время этот источник поставляет 5 гигатонн углерода в год. С 1950 года до начала энергетического кризиса в 1973 году количество углерода, поступавшее в атмосферу при сжигании топлива, увеличилось со скоростью 4,46 процента в год, после 1973 года оно уменьшилось до 1,86 процента в год, а в 1980—1982 годах отмечалось даже снижение выбросов.

В период между 1910 и 1950 годами темпы прироста выброса углекислого газа были несколько замедленными, что связано с двумя мировыми войнами и их последствиями и мировым экономическим кризисом конца 20-х — начала 30-х годов.

Наиболее объемный резервуар — это осадочные карбонатные породы, образовавшиеся в течение большей части геологической истории Земли. Оценка его, полученная по величине массы земной коры, составляет $5 \cdot 10^4$ терадонн углерода и, по-видимому, должна считаться минимальной. И все же содержание углерода в этом резервуаре в тысячи и десятки тысяч раз больше, чем в перечисленных выше резервуарах, как по отдельности, так и вместе взятых. Понятно, что при небольших нарушениях равновесия между вулканическими выделениями углекислого газа и накоплением карбонатных осадков другие резервуары могли изменяться весьма существенно. Скорость накопления карбонатных осадков, средняя за всю геологическую историю, оценивается в 0,01 гигатонны углерода в год, такой же порядок имеет скорость поглощения углекислого газа из атмосферы при выветривании горных пород. Эти процессы приблизительно уравниваются выделением

газа в атмосферу благодаря вулканической деятельности.

Таким образом, по своей интенсивности потоки углерода между резервуарами можно разделить на три группы. Наиболее интенсивны потоки, связанные с обменом между океаном и атмосферой и между атмосферой и биосферой. Вдесятеро меньше интенсивность потоков, создаваемых сжиганием ископаемого топлива и производством цемента. Наконец, в третью группу входят потоки при геологических процессах. Интенсивность их еще в сотни раз меньше, и потому их можно не учитывать, когда рассматриваются изменения за столетия или десятилетия. В то же время очевидно, что потоки между океаном и атмосферой, а также между атмосферой и биосферой необходимо учитывать при анализе изменений содержания углекислого газа в атмосфере в прошлом, а также при прогнозах на будущее.

С 1860 года по настоящее время (1988) в результате сжигания топлива и производства цемента в атмосферу поступило около 204 гигатонн углерода (до 1973 года — 128 гигатонн), а его содержание за тот же период, как говорилось выше, увеличилось на 128 гигатонн, что составляет около 63 процентов от этого притока. Однако деятельность людей приводит также к дополнительному потоку углерода в атмосферу вследствие воздействия на биосферу. Параллельно с развитием промышленности происходил рост площади сельскохозяйственных угодий, прежде всего за счет лесов, которые обладают большей продуктивностью биомассы. Помимо того, что это приводило к сокращению производства биомас-

сы, оно вело также к выделению газа из-за деградации почв (окисление гумуса). По расчетам, это привело за период 1860—1970 годов к выделению в атмосферу около 72 гигатонн углерода. За период 1950—1970 годов расчет дал интенсивность потока в атмосферу около 1,3 гигатонны углерода в год. Оценки на 1980 год дают поток от 1,0 до 2,6 гигатонны в год, большая часть чего обязана тропическим лесам. Учитывая эти оценки, можно полагать, что за последние 18 лет в атмосферу вследствие воздействия человека на биосферу поступило около 32 гигатонн, а за весь период с 1860 года — 104 гигатонны углерода.

Оба источника — промышленный и сельскохозяйственный — дают за весь период 308 гигатонн углерода. Прирост содержания углерода составляет от этой величины около 42 процентов.

И все же во всех этих рассуждениях остается значительная неопределенность. Она связана с тем, что существенные изменения интенсивности потоков могут происходить и естественным путем. Например, равновесие между растительностью и атмосферой, о котором говорилось выше, сохраняется лишь приближенно. В действительности могут происходить отклонения от равновесия. Увеличение объемного содержания углекислого газа в атмосфере ведет к повышению фотосинтетической активности, накоплению углерода в растениях и почве и соответственно к удалению избытка углекислого газа из атмосферы. Изменения климата (прежде всего температуры) могут приводить к нарушению равновесия между атмосферным резервуаром и био-

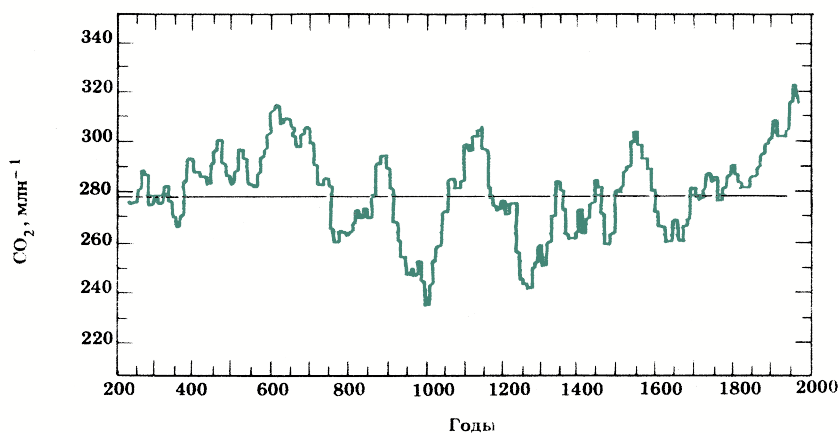


Рис. 9. Изменение содержания CO₂ в атмосфере за последние 2 тысячи лет по данным изотопного анализа углерода в годичных кольцах деревьев

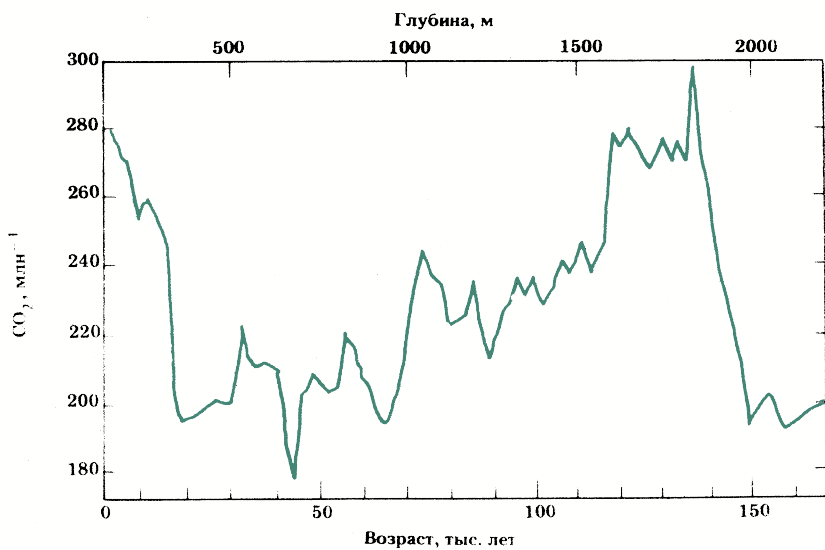


Рис. 10. Изменения содержания углекислого газа в течение последних 150 тыс лет по данным анализа воздуха «ископаемых» пузырьков в ледовой колонке (станция Восток, Антарктида)

сферой, а также между атмосферой и океаном.

О том, что естественные колебания содержания углекислого газа в атмосфере могут быть весьма значительными, свидетельствуют результаты исследований его содержания в прошлом, когда не могло быть и речи о влиянии человеческой деятельности. На рис. 9 показаны изменения содержания этого газа в атмосфере за последние 2000 лет, полученные с помощью изотопного анализа углерода в годичных кольцах очень старых деревьев. Если отбросить последние 150—200 лет, когда стало заметным воздействие человека, то можно видеть, что содержание углекислого газа испытывало естественные колебания с амплитудой до 70—80 частей на миллион и периодами в несколько сотен лет. На рис. 10 показаны колебания за последние 150 тысяч лет, в том числе в течение двух ледниковых эпох и в межледниковье. Данные основаны на измерениях содержания газа в пузырьках «ископаемого» воздуха, содержащихся в колонке льда длиной более двух километров, выбуренной из Антарктического ледяного щита на станции Восток. Видно, что амплитуда колебаний достигла 100—120 частей на миллион.

В какой-то мере прояснить, как распределяется углерод между резервуарами, помогает анализ изотопов углерода, который можно также назвать анализом меченых атомов.

Природный углерод, в свободном ли состоянии или в составе многообразных соединений, представляет собой смесь из трех видов атомов (так называемых изотопов) — обычного (легкого, с атомным весом 12), более тяжелого (атомный вес 13) и самого

тяжелого (атомный вес 14). Первые два изотопа стабильны, третий радиоактивен. Соотношение между распространенностью стабильных изотопов ^{12}C и ^{13}C равно приблизительно 90:1, количество же радиоактивных изотопов вообще ничтожно (оно составляет примерно 10^{-12} от общего содержания углерода). При различных химических, физических и биологических природных процессах происходит разделение (или, как говорят, фракционирование) изотопов. Поэтому соотношение изотопов в различных природных средах или телах различно и несколько отличается от приведенного выше. Соотношение между стабильными изотопами принято характеризовать величиной $\delta^{13}\text{C}$, которая представляет собой относительное отклонение соотношения $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в данной среде или объекте от соотношения в некотором стандартном образце. Величина $\delta^{13}\text{C}$ выражается в тысячных долях (промилле), если она положительна, то тяжелого изотопа ^{13}C содержится больше, чем в образце, если отрицательна — меньше, чем в образце. В верхнем слое океана $\delta^{13}\text{C} \approx 2,5$ промилле, а в атмосфере имеется небольшой дефицит ($\delta^{13}\text{C} \approx -6$ промилле), в биомассе растительности и гумусе почв этот дефицит заметно больше ($\delta^{13}\text{C} \approx -25$ — -26 промилле), примерно такой же дефицит имеется и в углероде горючих полезных ископаемых.

Поскольку в ископаемом топливе и в биосфере стабильный тяжелый углерод ^{13}C находится в несколько меньшем отношении к ^{12}C , чем в атмосфере, то уменьшение его содержания, зафиксированное по наблюдениям в атмосфере в 1956 и 1976 годах, можно объяснить именно поступлением обедненного ^{13}C углерода в результате сжигания ископаемого топлива, сведения лесов, распахивания новых земель. Такое уменьшение содержания ^{13}C возможно также и вследствие естественных процессов, например при поступлении

углерода из океана.

Судить об изменениях содержания ^{13}C в атмосфере за прошлые годы можно по измерениям содержания ^{13}C в годовых кольцах деревьев, которое изменяется параллельно с содержанием в атмосфере. Эти исследования показывают, что за 1850—1950 годы произошло уменьшение содержания ^{13}C в годичных кольцах деревьев, которое выражается величиной $\delta^{13}\text{C}=1,0\text{—}1,5$ промилле.

Уменьшение ^{13}C получило название «эффекта Стюивера» по имени американского ученого, впервые оценившего это уменьшение.

На рис. 11 показано изменение ^{13}C по данным измерений в годичных кольцах деревьев начиная с 1800 года. Примерно до 1860 года происходили колебания вокруг некоторого постоянного уровня, далее началось устойчивое уменьшение этой величины, связанное с ростом потребления ископаемого топлива и развитием сельскохозяйственного производства.

Радиоактивный углерод ^{14}C образуется в верхних слоях атмосферы в результате бомбардировки космическими лучами ядер азота, самого распространенного элемента атмосферы. Содержание ^{14}C в атмосфере определяется равновесием между его образованием и распадом (происходящим с полупериодом 5730 лет). Скорость образования ^{14}C в результате космической бомбардировки оценивается в 8 килограммов в год, а его общее количество в атмосфере составляет около 706 килограммов. Образуясь, как было сказано, в верхних слоях атмосферы, ^{14}C распределяется по атмосфере, гидросфере и биосфере.

Ископаемое топливо, образовавшееся сотни миллионов лет назад, не содержит радиоактивного изотопа. Поэтому при сжигании ископаемого топлива происходит уменьшение отношения $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ в атмосфере.

На рис. 12 показаны изменения содержания ^{14}C в годичных кольцах деревьев за период 1820—1950 годов. До 1890 года заметна лишь слабая долгопериодная тенденция к уменьшению содержания ^{14}C , на фоне которой происходили сравнительно короткопериодные колебания. Начиная же с 1890 года тенденция к уменьшению существенно усилилась и стала главной характерной чертой изменения содержания ^{14}C . За период 1890—1950 годов содержание ^{14}C в атмосфере снизилось на $2\pm 0,3$ процента.

Это явление, которое было названо по имени открывшего его ученого «эффектом Зюсса», доказывает искусственное происхождение увеличения содержания углекислого газа в атмосфере. К сожалению, в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере в 1958—1962 годах эта закономерность, ставшая важным инструментом исследований круговорота углерода, нарушилась, так как содержание ^{14}C скачком удвоилось и до сих пор не возвратилось к равновесному состоянию. Следует, однако, сказать, что причиной некоторого уменьшения содержания радиоактивного углерода могут быть и другие факторы: изменения интенсивности космических лучей вследствие взаимодействия с переменным солнечным ветром, геомагнитным полем или обмен между различными резервуарами системы атмосфера — океан — суша при естественных изменениях климата.

Данные об изменениях содержания изотопов ^{13}C , ^{14}C и промышленного выброса углекислого газа в атмосферу позволили построить три кривые, изображенные

на рис. 13. Кривая 1 показывает изменение объемной концентрации углекислого газа в атмосфере. В период 1860—1940 годов содержание монотонно возрастало, в период похолодания 1940—1960 годов менялось сравнительно мало, причем с тенденцией к уменьшению, а затем стало резко и неравномерно возрастать. Вклад продуктов сгорания ископаемого топлива, подсчитанный по количеству использованного топлива и доле, остающейся в атмосфере, описывает кривая 2. Она обнаруживает монотонное увеличение промышленного выброса и его вклада. Кривая 3, которая получена как разность между кривыми 1 и 2, описывает вклад обмена с биосферой и океаном. Эта кри-

вая обнаруживает монотонный рост в период 1860—1940 годов, заметное уменьшение (по-видимому, из-за поглощения углекислого газа охлаждающимся океаном) в период похолодания и новое возрастание с 1965 года. Опережающая роль океана (и мнение, что естественные колебания концентрации углекислого газа — не причина, а следствие изменений климата) подтверждается изменениями атмосферного содержания углекислого газа в результате взаимодействия океана и атмосферы. Так, после явления Эль Ниньо 1982—1983 годов произошла инъекция в атмосферу 6 миллиардов тонн углекислого газа, повысившая его объемную концентрацию на 1 часть на миллион.

Из рисунка можно сделать вывод, что изменения климата в 1890—1965 годах были созданы естественными процессами. Слабыми признаками искусственного происхождения последующего потепления могут служить лишь его большая скорость (хотя аналогичные или большие скорости могли наблюдаться и в прошлом, о чем говорит изучение процессов при переходе от последнего оледенения к современному состоянию) и его менее неравномерное распределение по широтам, чем в 1890—1940 годах. В целом же для объяснения колебаний климата имеющихся данных еще совершенно недостаточно, и их необходимо пополнять, прежде всего материалами по облачности и радиационными измерениями со спутников.

В заключение следует сказать, что недостаток понимания механизмов колебания климата и фактических данных для такого понимания, хотя и может служить основанием для критики выводов о

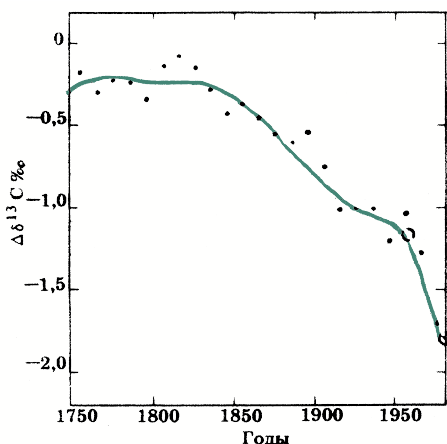


Рис. 11. Эффект Стьювера. Изменение ^{13}C в годичных кольцах деревьев в Северном полушарии за 1750—1978 годы. Точки — средние по 10-летиям значения, кривая — построенный по ним полином 6-й степени, кружки — значения дефицита изотопа ^{13}C в атмосфере в 1956 и 1978 годах

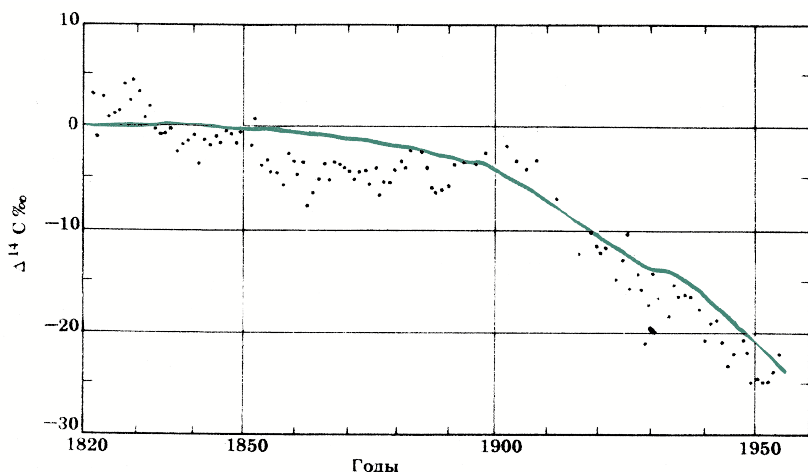


Рис. 12. Эффект Зюсса. Изменение ^{14}C в атмосфере по годичным кольцам деревьев в период 1820—1954 годов. Точки — измерения в каждом году, кривая — расчет по модели

неизбежности роста концентрации углекислого газа в атмосфере за счет человеческой деятельности, никак не подвергает сомнению разумность призывов ко всемерному сокращению выбросов в атмосферу углекислого и других парниковых газов, прекращению уничтожения биосферы, ее сохранению и умножению.

Озоновая дыра

В 1985 году появились первые сообщения о возникновении «озоновой дыры» над Антарктидой. Содержание озона в ней за семь лет уменьшилось более чем вдвое. Это вызвало тревогу в мире. Если уменьшение содержания озона будет продолжаться далее и распространится на другие области земного шара, то под угрозой окажется жизнь на нашей планете. Между тем тревожные сообщения о критическом состоянии так на-

зываемого «озонового экрана» все чаще появляются и в научной, и в массовой печати.

Что же такое озоновый экран, как он возник, какова его роль, что с ним происходит в последнее время?

Озон — это газ, молекулы которого состоят из трех атомов кислорода. Запах озона (по-гречески *ozein* — «издавать запах») наверняка знают те, кто по назначению врача подвергался облучению кварцевой лампой или попросту «кварцем». Запах озона стал известен как «запах электричества» более двухсот лет тому назад, но то, что этот запах принадлежит неизвестному до того времени газу — озону, стало ясно лишь в 1840 году. Иногда присутствие озона в воздухе можно обнаружить по слабой голубоватой дымке. Озон — исключительно неустойчивое вещество, и его распад может происходить самопроиз-

вольно (в действительности его распаду способствует наличие в воздухе некоторых других веществ, о чем будет речь ниже). Поэтому озон — очень энергичный окислитель и применяется, например, для обеззараживания воды (вместо хлора) и воздуха. Напротив, для образования озона из молекулярного кислорода необходимо затратить определенное количество энергии. В природе эту энергию поставляют у поверхности Земли электрические разряды, а в верхней атмосфере — ультрафиолетовое излучение Солнца.

В нижней атмосфере электрические разряды происходят нерегулярно, но верхняя атмосфера подвергается действию ультрафиолетовых лучей регулярно (с суточным и сезонным ходом, зависящим от широты). Ультрафиолетовые лучи с очень малыми длинами волн (меньше 220 нанометров, т. е. миллиардных долей метра) полностью поглощаются в слоях, лежащих выше стратосферы. До земной поверхности доходит излучение только с длинами волн больше 290 нанометров. Это было установлено еще в

1879 году французским ученым М. А. Корню. Излучение с промежуточными длинами волн, охватывающее большую часть так называемой области В ультрафиолетового диапазона (320—275 нанометров) и часть области С (275—180 нанометров), целиком поглощается в стратосфере. Поэтому там на высоте от 10 до 50 километров образуется озоновый слой с максимумом концентрации озона на высотах от 16 километров в полярных областях до 25 километров в экваториальной зоне. О типичном вертикальном распределении озона в зависимости от широты и сезона и скорости образования озона можно судить по рис. 14.

Ультрафиолетовое излучение имеет весьма существенное биологическое действие. Оно вредно для живых организмов. Особенно пагубно излучение с длинами волн короче тех, что достигают поверхности Земли. Хотя оно изучено меньше, чем ультрафиолетовое излучение области А (400—320 нанометров), которому мы обязаны загаром, экспериментальные данные позволяют утверждать,

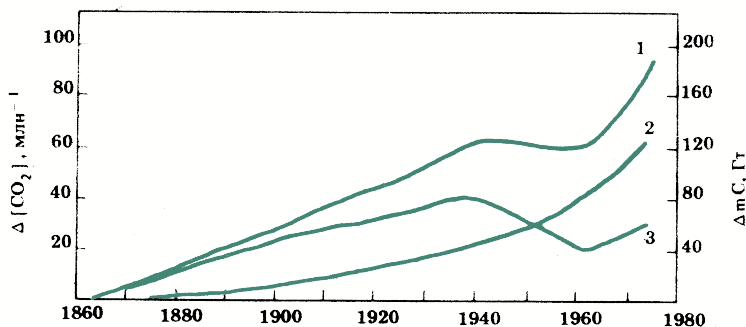


Рис. 13. Изменения содержания углекислого газа в атмосфере: 1 — суммарные, 2 — за счет сжигания ископаемого топлива, 3 — в результате обмена с биосферой и океаном

что оно весьма вредно для человека и животных, растительных организмов и даже неживых органических материалов. Исследования, в общем, показывают, что при облучении ультрафиолетовыми лучами области В увеличивается частота повреждений кожи, в том числе злокачественных, случаев катаракты, происходит ослабление иммунной системы. Облучение в области В некоторых растений может сказаться на эффективности сельского хозяйства. Оно может отразиться на жизни всех внутренних водоемов и океана, поскольку легко причиняет ущерб обитающим в верхних слоях водной толщи микроскопическим водорослям, находящимся в начале всей пищевой цепи океана. Наконец, у некоторых материалов, например пластмасс, резины, в результате облучения может

происходить ускоренное старение.

Причиной всех этих эффектов служит высокая энергия излучения в области В, которая воздействует на живые организмы на клеточном и внутриклеточном уровне, а на неживое вещество — на молекулярном уровне. В живых организмах может происходить фотоллиз (разложение вследствие разрыва слабых связей) и денатурация белков (потеря функциональной активности молекул вследствие уменьшения заряда), и, что особенно важно, облучение воздействует на нуклеиновые кислоты, несущие в себе генетическую информацию. Изменения в нуклеиновых кислотах влияют на все стороны жизнедеятельности клеток — их рост, деление, наследственность, само их существование. В связи с этим к перечисленным выше эффектам можно

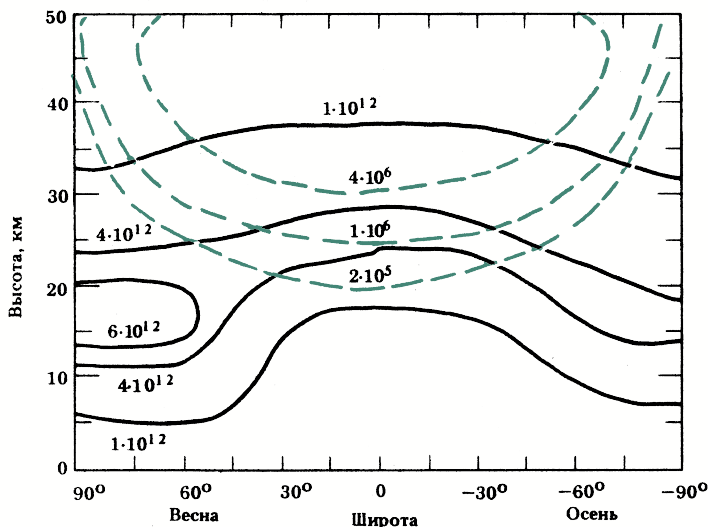


Рис. 14. Зонально осредненные концентрации озона (количество молекул в кубическом сантиметре, сплошные линии) и скорости образования озона (количество молекул в кубическом сантиметре в одну секунду, прерывистые линии). Средняя скорость образования $3 \cdot 10^4$ молекул в кубическом сантиметре в секунду эквивалентна 10^{12} молекул в кубическом сантиметре в год (по данным Г. Джонстона, 1975)

прибавить увеличение вероятности мутаций и появление новых болезнетворных организмов — микробов и вирусов, к которым не готова иммунная система людей, и это, по-видимому, самое опасное последствие появления озоновых дыр.

Отсюда становится понятной большая экологическая роль озонового слоя (который поэтому называют «озоновым щитом», или «озоновым экраном») несмотря на то что озон составляет ничтожную долю земной атмосферы (и по массе, и по объему менее одной миллионной доли), причем на стратосферный озон приходится около 90 процентов. Из исследований истории Земли, ее климата мы знаем, что жизнь на суше стала возможной лишь после того, как появился озоновый экран.

До конца XIX — начала XX столетия самыми важными считались бактерицидные свойства озона, измерения которого у поверхности Земли стали производиться с середины XIX века. Считалось, что его наличие делает воздух более живительным (озона нет в накуренных помещениях, шахтах и т. п.). Однако впоследствии оказалось, что в больших концентрациях озон ядовит.

Осознание действительно важной роли озона, пожалуй, следует связать с открытием в 1881 году Роберта Хартли, который в лабораторных условиях показал, что озон очень эффективно поглощает ультрафиолетовое излучение в диапазоне 230—290 нанометров. Поскольку озона у поверхности Земли для этого явно недостаточно, Р. Хартли решил, что в верхней атмосфере должен существовать слой, в котором концентрация озона высока.

Английский физик Сидней Чепмен в 1930 году предложил фотохимическую теорию образования и разрушения озона в стратосфере. Он указал пять основных реакций, в которых учитывается как разложение молекулярного кислорода с последующим объединением атомарного и молекуляр-

ного кислорода и образованием озона, так и разрушение озона вследствие его распада или столкновения с атомарным кислородом. В это же время появились первые количественные измерения общего содержания озона (можно сказать, стратосферного озона) с помощью приборов (спектрофотометров Добсона), в которых производится сравнение солнечной энергии на двух частотах в полосе поглощения озона. В настоящее время содержание озона, его вертикальный профиль измеряются не только с поверхности Земли, но и с помощью озоновых зондов, а также со спутников. Измерения показали, что фотохимическая теория, в общем, дает близкие к действительности результаты. Были, однако, отмечены и различия, которые относились главным образом к распределению озона ниже его максимума. Эти расхождения были отмечены и в содержании озона выше максимума: наблюдаемые концентрации оказались несколько ниже вытекающих из теории Чепмена. Эти расхождения, как оказалось, могут быть устранены учетом происходящих в реальной атмосфере каталитических реакций разрушения озона, в которых участвуют малые примеси, например гидроксил, закись азота, хлор и др. Каталитические реакции замечательны тем, что вещества, участвующие в них в качестве катализатора, выходят из них, не претерпев никаких превращений, и могут вновь вступать в реакцию. Это происходит до тех пор, пока эти вещества не будут связаны в каких-либо других реакциях.

В нижней части атмосферы, где содержится приблизительно 10 процентов общего количества озона, этот газ играет роль загрязнителя, который при больших концентрациях воздействует на дыхательные пути, раздражает глаза, он может также нарушать рост растений и воздействовать на различные материалы (например, резину, ткани, краски), вызывая их старение. Допустимый для человека уровень загрязнения, по мнению Всемирной организации здравоохранения, не должен превышать 150—200 микрограммов на кубометр. В обычных условиях в слое атмосферы до 10 километров его кон-

центрация в среднем составляет 30 микрограммов на кубометр (колеблется от нуля до 100 микрограммов на кубометр). Как уже говорилось, в нижних слоях атмосферы озон может образовываться в результате электрических разрядов, но гораздо более важными являются фотохимические реакции с участием более длинноволнового излучения (370—420 нанометров) и обязательно с участием веществ-посредников, как окислы азота или углеводороды. Окислы азота, например, имеют на 70 процентов естественное происхождение, выделяясь из почвы и из вод океана. Под действием ультрафиолетовых лучей области А происходит распад двуокиси азота с образованием атомарного кислорода и далее озона, который, в свою очередь, вновь окисляет окись азота до двуокиси. Таким образом поддерживается малая равновесная концентрация озона в нижних слоях атмосферы. В крупных городах, где добавляются промышленные выбросы и автомобильные выхлопы окислов азота и углеводородов, этот процесс нарушается из-за изъятия окислов азота вследствие ее реакции с углеводородами. В результате содержание озона существенно возрастает, появляются сложные продукты химических взаимодействий, возникает так называемый фотохимический смог в виде коричневатой дымки, имеющий характерный запах, раздражающий глаза и дыхательные пути и губящий зеленые насаждения.

Ранее считалось, что в тропосферу озон попадает главным образом путем переноса из стратосферы. В настоящее время полагают, что образование озона в самой тропосфере более существенно, чем его приток из стратосферы.

Нельзя не сказать о климатической роли озона, который вносит вклад, во-первых, в парниковый эффект, сильно поглощая инфракрасное излучение (в том числе в окне прозрачности атмосферы, во-вторых, в нагревание нижней стратосферы вследствие поглощения и этого инфракрасного излучения, и ультрафиолетового излучения в полосах 220—290 наномет-

ров и 310—360 нанометров (около 4 процентов энергии солнечного излучения). Собственно, благодаря этому и существует стратосфера (характеризующаяся повышением температуры с высотой), и именно этим определяется ее динамика. В частности, благодаря этому стратосфера имеет устойчивое вертикальное расслоение и затрудняет мощные вертикальные движения, характерные для нижнего слоя атмосферы — тропосферы, способствуя, таким образом, сохранению озона внутри стратосферы.

Общее содержание озона в столбе атмосферы обычно выражается в виде приведенной к стандартным давлению и температуре толщины в миллиметрах или в так называемых единицах Добсона. Единица Добсона (ЕД) представляет собой тысячную часть атмосферного столба сантиметровой высоты и соответствует количеству озона, равному $2,7 \cdot 10^{16}$ молекул на квадратный сантиметр поверхности. Среднее значение содержания озона составляет около 3 миллиметров, или 300 ЕД, что соответствует 3,2 гигатонны озона.

Глобальное распределение озона характеризуется широкой тропической областью с минимальным содержанием этого газа. Начиная от 35° ш., количество озона растет на север до 70—80° с. ш., а на юг до 50—60° ю. ш. Далее над Антарктикой количество озона снова уменьшается, и формируется южнополярный минимум. Аналогичный, но менее глубокий минимум имеется и над Арктикой.

Наблюдения показывают, что распределение озона испытывает значительные колебания во времени с разными периодами. Их причинами могут быть сезонные изменения солнечного облучения (приводящие, в частности, ко внезапным стратосферным потеплениям), различные непериодиче-

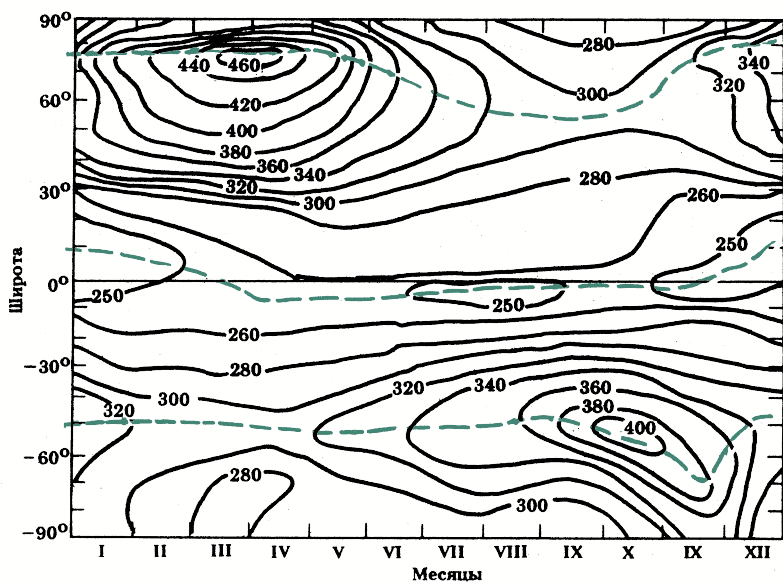


Рис. 15. Изменение общего содержания озона (единицы Добсона) в зависимости от широты и времени года

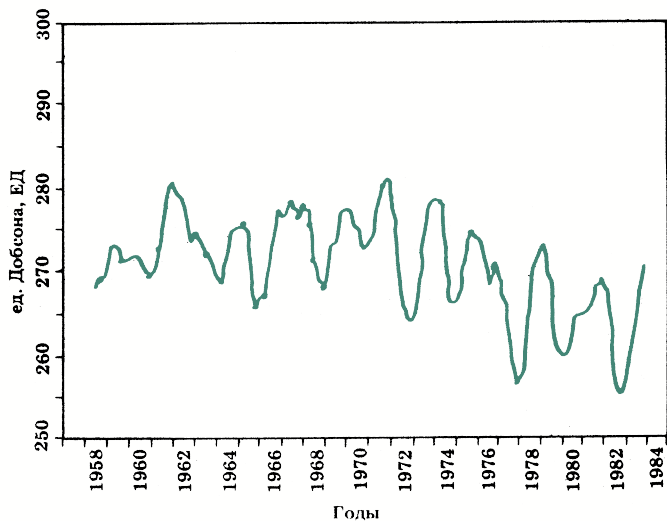


Рис. 16. Временные изменения общего содержания озона (единицы Добсона) на станции Мауна Лоа, Гавайи. Заметны квази-двухлетние колебания и долго-периодная тенденция

ские проявления солнечной активности (например, солнечные вспышки), формирование и движение крупных вихрей и волн в нижней стратосфере и прилегающих слоях, колебания воздушных течений с периодом, близким к двум годам (прежде всего в экваториальной стратосфере) и т. д. Происходят также изменения продолжительностью в несколько лет и даже в десятки лет.

На рис. 15 показаны сезонные изменения общего содержания озона на разных широтах. Заметен приэкваториальный минимум, о котором говорилось выше, незначительно смещающийся в сезонном ходе вокруг экватора и имеющий почти постоянную интенсивность. Сезонные изменения в умеренных и высоких широтах имеют существенный размах с максимумом весной и минимумом осенью соответствующего полушария. Максимум озона в Северном полушарии находится в более высокоширотной зоне ($70-80^\circ$ северной широты), чем в Южном полушарии ($50-60^\circ$ южной широты). Поэтому относительные полярные минимумы неравновелики по занимаемой площади: антарктический минимум значительно обширнее, чем арктический.

На рис. 16 показаны изменения общего содержания озона на тропической станции Мауна Лоа. Из рисунка видно, во-первых, наличие квазидвухлетних ($26-28$ месяцев) колебаний очень большой амплитуды, которые связаны с квазидвухлетней периодичностью ветра в приэкваториальной нижней стратосфере, где половину периода имеются западные ветры, а другую половину — восточные. (Недавно было обнаружено, что эти квазидвухлетние колебания ветра связаны также с температурой

стратосферы и содержанием озона над Антарктикой; по наблюдениям, содержание антарктического озона уменьшается в минимумы солнечной активности, как мы видели выше, и в периоды западных экваториальных стратосферных ветров.) Во-вторых, заметны долгопериодные изменения общего содержания озона. От минимума 1958 года происходило увеличение до 1962 года, в течение следующего десятилетия уровень оставался почти постоянным, если не считать слабого уменьшения в середине периода; наконец, с 1972 года отмечается постепенное уменьшение количества озона.

Интерес к долгопериодным изменениям содержания озона особенно возрос в 1970-е годы, когда возникло опасение, что окислы азота, содержащиеся в выхлопах высотной транспортной авиации, могут привести к ослаблению или даже разрушению стратосферного озонного слоя. Однако количественные оценки показали, что интенсивность этого источника ничтожна по сравнению с основным естественным источником. Оказалось, что гораздо большую опасность для озонного слоя представляют фреоны и подобные им вещества, которые имеют искусственное происхождение, — они широко применяются в холодильных установках, различных аэрозольных распылителях и при тушении пожаров. Именно то, что сделало эти вещества по их потребительским свойствам почти идеальными, стало причиной обостренной тревоги за судьбу озонного слоя. Эти вещества уникальны по своим тепловым и другим физико-химическим свойствам, безвредны для здоровья человека. А самое главное — они практически не вступают в химические

реакции с другими веществами. Они стали изготавливаться промышленностью в 1930-е годы, а в начале 1970-х годов их присутствие было обнаружено в атмосфере. В 1974 году американские ученые Молина и Роуленд выдвинули гипотезу, что некоторые из этих веществ, в первую очередь нашедшие особенно широкое применение фреоны-11 и 12, благодаря своей высокой устойчивости (по имеющимся оценкам, время жизни фреонов-11 и 12 в атмосфере составляет соответственно около 80 и 170 лет) достигают стратосферы и здесь под действием ультрафиолетового излучения распадаются и образуют свободные ионы хлора, которые вступают в каталитические реакции с озоном, разрушая его. Недавно было указано еще несколько механизмов разрушения озона, связанных с наличием примесей-катализаторов. Одними из них являются каталитические реакции на поверхности облачных частиц в полярных стратосферных облаках. Этот механизм, в частности, связывает воедино три фактора: наличие стратосферных полярных облаков, каталитическое разрушение озона и понижение температуры стратосферы.

Несмотря на то что уже несколько десятилетий работает довольно обширная сеть наземных станций (свыше 100), производящих измерения с помощью спектрофотометров, достоверно определить долгопериодные тенденции в состоянии озонового слоя оказывалось невозможным. Главные причины этого заключаются в отсутствии взаимных сравнений различных измерительных приборов, нерегулярности проверок, старении приборов, большой изменчивости условий измерения и т. п. Ввиду этого в 1983 году была создана специальная сеть из семи автоматизированных станций, оснащенных динаковыми приборами, которая должна

устранить проблему инструментального старения и прочих ошибок. Понятно, что данных этой сети за 5—6 лет пока еще недостаточно, чтобы можно было определить долгопериодную тенденцию в изменениях озона. Поэтому приходится опираться на менее надежный, но более массовый материал наблюдений.

Самый длинный ряд наблюдений в Арозе (Швейцария) свидетельствует о том, что суммарное содержание озона увеличилось между 1925 и 1942 годами на 2—3 процента, далее оставалось приблизительно на уровне максимума 1942 года, а между 1960 и 1981 годами уменьшилось на 1—2 процента. Последующее резкое понижение примерно на 5 процентов приписывается некоторыми исследователями извержению вулкана Эль Чичон в 1982 году. По данным измерений с помощью озоновых зондов, в Европе между 1940 и 1980 годами общее содержание озона уменьшилось приблизительно на 3 процента, т. е. скорость уменьшения составила 0,75 процента за десятилетия; по другим данным, для озона в средней стратосфере она составляет 0,5 процента в год. На станции Мауна Лоа уменьшение содержания озона с 1970 года составляет около 3 процентов за десятилетие (см. рис. 16). Особую тревогу вызвали появившиеся в 1985 году сообщения об озоновой дыре в Антарктике. Наземные наблюдения на английской антарктической станции Халли Бей (76° южной широты, 27° западной долготы), ведущиеся со времени Международного геофизического года (1957), показали, что начиная с 1979 года происходит быстрое уменьшение содержания озона во время антарктической весны — октября (рис. 17) со скоростью около 6—7 процентов (до 8 процентов

в год). Особенно низкое содержание озона наблюдалось в октябре 1987 года (рис. 18), когда оно стало ниже 150—125 ЕД (при среднем многолетнем около 300 единиц). 5 октября 1987 года на станции Южный Полюс была зафиксирована величина 109 единиц. Это на 29 единиц меньше, чем предыдущий рекордный минимум 1985 года.

Измерения содержания озона со спутников и наземные измерения показали, что большую роль в возникновении «озоновой дыры» над Антарктикой играет полярный стратосферный вихрь. Этот вихрь, занимающий огромную площадь, препятствует обмену воздухом между Антарктикой и средними широтами, где стратосферный воздух содержит гораздо больше озона. В результате потери озона внутри вихря не восполняются, и в начале весны содержание озона достигает минимума. Далее происходит взрывное увеличение содержания озона как вследствие наступления полярного дня, так и вследствие быстрого разрушения полярного вихря. Последнее удалось наблюдать благодаря тем же спутниковым измерениям содержания озона. Они показали, что первоначально имеется правильная область минимального содержания озона с центром в полюсе, совпадающая с околполярным вихрем. С течением времени центр области сдвигается с полюса, и в конце концов вихрь разрушается.

Дж. Энджел (1983, 1988) статистически обработал все данные наземных наблюдений за озоном и вычислил изменения за 1957—1985 годы общего содержания озона в пяти зонах земного шара: северной и южной полярных, северной и южной умеренных и

тропической (рис. 19). Из рисунка видно, что глобальное содержание озона (нижняя кривая) с 1957 по 1962 год уменьшалось, затем до 1968 года увеличивалось, вновь уменьшалось до 1974 года и опять увеличивалось до 1979 года. В настоящее время оно продолжает уменьшаться. Как видно, интервал времени между последовательными максимумами или минимумами близок к продолжительности так называемого солнечного цикла (10—12 лет). Более того, сами максимумы и минимумы глобаль-

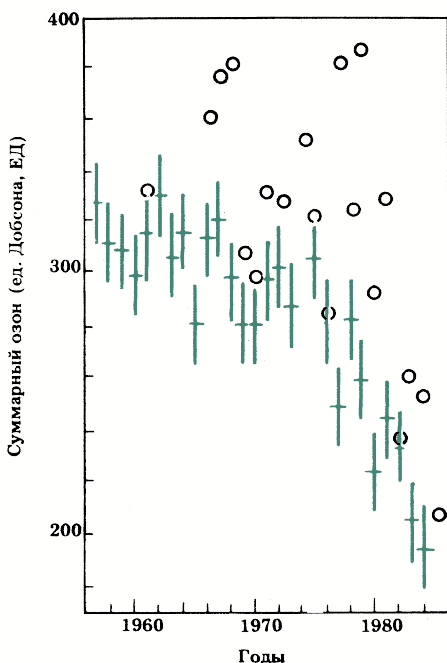
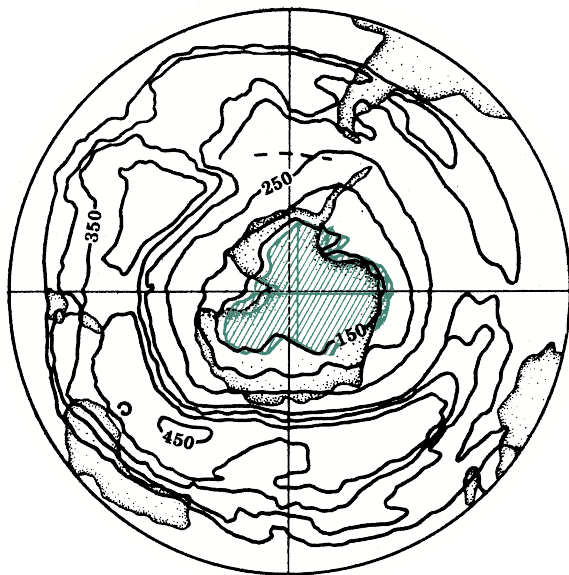


Рис. 17. Изменение общего содержания озона на станции Халли Бей, Земля Грейама (крестики, вертикальная черта которых указывает возможные пределы величин содержания озона) и Сёва (кружки) южной весной (октябрь) за 1958—1984 годы



Нимбус 7

Рис. 18. Общее содержание озона в атмосфере Южного полушария по данным спутника Нимбус-7 5 октября 1987 года, когда наблюдалось самое низкое содержание над Антарктикой

ного содержания озона фактически совпадают соответственно с максимумами и минимумами солнечного цикла. Это наводит на мысль, что причиной долгопериодных изменений глобального содержания озона могут быть изменения солнечной активности.

Однако если посмотреть на изменения озона в разных широтных зонах, то станет понятным, что они происходят не так просто. Долгопериодные изменения в каждой зоне не повторяют глобальной кривой. Так, глобальный минимум 1958—1962 годов возникает благодаря существенному уменьшению озона (приблизительно на 7 процентов) в арктической полярной области, а также в южной умеренной зоне, тогда как в антаркти-

ческой полярной области существенного понижения не отмечается. Кстати, это глобальное понижение 1958—1962 годов, по величине лишь немного уступающее современному, свидетельствует о том, что для возникновения крупных колебаний содержания озона не необходимо присутствие большого количества фреонов, производство которых было тогда на порядок меньше. (Правда, в печати встречаются сообщения об обнаружении фреонов в вулканических газах и даже в пузырьках «ископаемого» воздуха, вмерзших в антарктический лед.) В то же время современная тенденция к уменьшению озона приблизительно с 1979 года характерна для всех пяти зон.

По данным Дж. Энджела, за 1980—1985 годы глобальное уменьшение среднего годового содержания озона составило 2,7 процента с возможной ошибкой $\pm 0,9$ процента. Наибольшее среднегодовое уменьшение произошло в антарктической полярной зоне ($5,6 \pm 3,7$), причем в южную весну ($14,4 \pm 12,7$). Вдвое меньшая величина ($2,9 \pm 2,7$) характерна для северной умеренной зоны. В арктической полярной области уменьшение составило $2,0 \pm 3,3\%$.

Дж. Энджел (1988) рассмотрел также изменения за 1980—1985 годы вертикального профиля озона. В тропосфере (10—16 километров) он получил увеличение содержания озона на 2,2 процента, в стратосфере — уменьшение от 1,7 до 6,4 процента в зависимости от высоты слоя.

В связи с ежегодным появлением в сентябре — октябре «озоновой дыры» в Антарктике возник вопрос: нельзя ли непосредственно наблюдать и оценить увеличе-

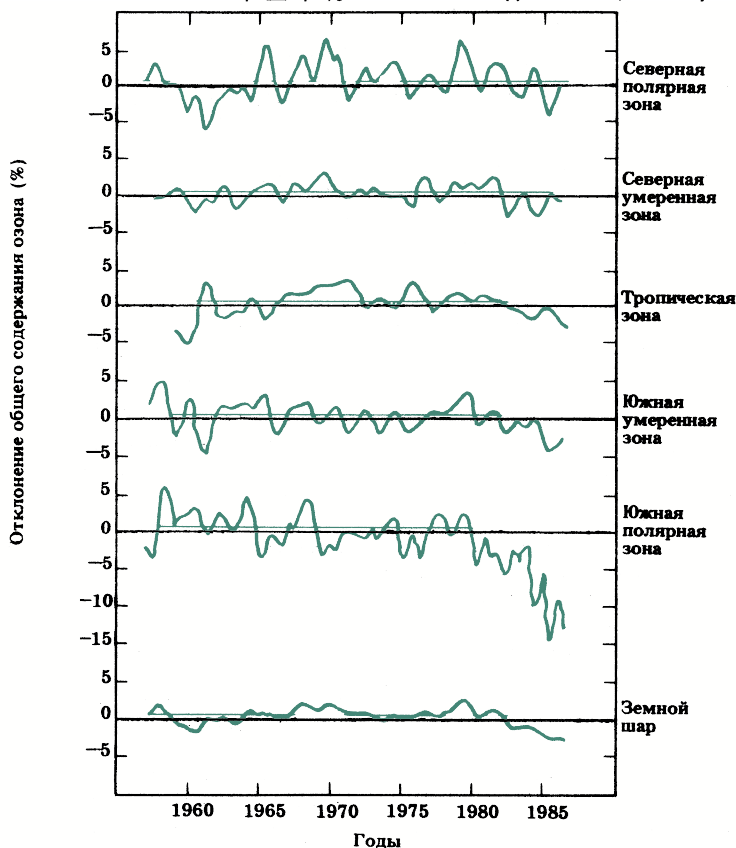


Рис. 19. Изменение содержания озона в различных широтных зонах и на Земле в целом (среднее из сезонных отклонений) (в процентах от средних многолетних зональных и глобального значений)

ние ультрафиолетовой радиации у поверхности Земли и ее воздействия на живые организмы? В 1988 году впервые удалось измерить прирост ультрафиолетовой радиации. Хотя уменьшение озона в этом году составило всего 15 процентов (в 1987 году общее содержание озона уменьшилось на 50 процентов, достигнув минимума), на станции Палмер в Антарктике в октябре был получен уровень радиации, типичный для летнего солнцестояния, т. е. на два месяца раньше обычного. Подсчеты показали, что в октябре 1987 года падающая на поверхность ультрафиолетовая радиация должна была по крайней мере удвоиться. Что касается наблюдений влияния на живые организмы, то результаты имеют пока что противоречивый характер.

Тревогу вызывает состояние озонового экрана и в арктической области, которая более обжита людьми, чем Антарктида, имеет более богатый и разнообразный животный мир, и потому последствия интенсивного разрушения озона для экологической системы были бы здесь более серьезными. В январе — феврале 1989 года была организована большая экспедиция с двумя специальными самолетами и многочисленными измерительными приборами, базировавшаяся на Ставангер, Норвегия. Было совершено несколько десятков полетов от базы к Северному полюсу, проведены многочисленные наземные наблюдения. Однако подтвердить разрушение озона, сколько-нибудь сопоставимое с тем, которое происходит в Антарктике, экспедиция не смогла. В то же время было отмечено, что внутри арктического полярного вихря имеется повышенное содержание соединений хло-

ра, участвующих в каталитических реакциях разрушения озона.

Таким образом, следует признать, что вопрос о причинах современного уменьшения содержания озона остается пока еще открытым. Но значение озонового экрана настолько велико, его экологическая роль в глобальном масштабе настолько значительна, что изменения его состояния побуждают не только к интенсификации исследований, но и к самым решительным практическим мерам. Уже в 1978 году США, Канада и Скандинавские страны запретили применение фреонов в аэрозольных баллончиках в тех областях производства, где без этого можно обойтись. Вскоре решение о замораживании производства и сокращении использования фреонов приняли многие другие страны. Активная работа мировой общественности завершилась в сентябре 1987 года международной конференцией и подписанием 24 странами, в том числе основными производителями фреонов, Монреальского протокола, а в октябре 1988 года протокол объединил уже 31 страну. Монреальский протокол, вступивший в силу с 1 января 1989 года, обязывает все подписавшие его страны, потребляющие фреоны в количестве более 0,3 килограмма на душу населения в год, сократить его потребление и соответственно производство (с некоторыми деталями) в течение 10 лет на 50 процентов. Налагаются и ограничения на экспорт и импорт этих веществ. В течение 1989 года потребление (соответственно производство) фреонов в странах, подписавших протокол, должно вернуться к уровню 1986 года, в 1993 году — не превышать 80 процентов это-

го уровня, а к 1999 году — не превышать 50 процентов.

Протокол открыт для подписания другими странами. Он предусматривает регулярные научные встречи для оценки и пересмотра мер, содержащихся в протоколе, в свете новых результатов исследований. Это показывает, что мировое сообщество, во-первых, достигло состояния, свидетельствующего о понимании им важности проблемы «озонового слоя», и, во-вторых, что оно способно взять ситуацию под контроль. Это вселяет надежду, что и другие глобальные экологические проблемы вскоре будут (или уже) осознаны, и будут приняты меры, способствующие их решению.

* * *

Первый вывод, который с неизбежностью следует из того, что говорилось выше, и к которому читатель, вероятно, уже пришел, состоит в том, что знания наши явно недостаточны. Глобальные проблемы, связанные с климатом, чрезвычайно сложны, и механизмы, лежащие в основе изменений климата, до сих пор до конца не поняты. Здесь, как нигде, проявляется старый парадокс: чем больше мы получаем информации и ответов на поставленные вопросы, тем больше возникает новых вопросов, и тем яснее мы осознаем, как скудны еще наши знания.

Поэтому первое, что необходимо предпринять, — это направить усилия на углубление и расширение этих знаний. Прежде всего речь идет о возможности более полной информации о состоянии климатической системы Земли и ее изменениях. Данные должны быть высокого качества, охватывать весь земной шар, быть непрерывными в течение длительного (в несколько десятков лет) периода. Этим требованиям лучше всего могут удовлетворить наблюдения со спутников из космоса. Одновременно нужны и наблюдения с поверхности планеты, которые дополняют или делают содержатель-

ными спутниковые наблюдения. Большой резерв — наблюдения за прежние годы, которые должны анализироваться под новым углом зрения.

Полученные данные послужат как выявлению во всех деталях фактических изменений климата, так и развитию теоретических моделей, объясняющих физические причины этих явлений.

Важную роль должна сыграть начинающаяся в 1990 году международная программа «Геоосфера — Биосфера» или «Глобальное изменение», которая объединит уже существующие и новые международные программы.

Хотя мы и не можем сейчас точно прогнозировать изменение климата или состояние озонового экрана, мы уверены, что введение в больших количествах углекислого и других «парниковых» газов, а также фреонов и подобных им веществ имеет серьезные последствия. Даже просто наличие вероятности (а ее никто не может отрицать) изменения климата и озонового экрана вследствие этого заставляет задуматься о будущей линии поведения человечества. Поэтому второй вывод состоит в том, что необходимо уже сейчас, не дожидаясь совершенствования наших знаний, предпринимать шаги для минимизации вредных последствий вмешательства человека в природные процессы. Мы уже имеем в качестве примера Монреальский протокол относительно мер по сохранению озонового слоя, о котором упоминалось выше. На очереди международные соглашения об уменьшении выброса «парниковых» газов в атмосферу.

Заклячая, следует сказать, что общей причиной возникновения глобальных экологических проблем (в том числе климатических) является загрязнение среды, которое в широком смысле означает не только введение человеком чуждых природе видов энергии и субстанций, но и естественные факторы, приводящие к значительным отклонениям характеристик природной среды. Здесь мы коснулись косвенных эффектов загрязнений. В дальнейшем предполагается рассмотреть непосредственные воздействия различных загрязнений на человека.

Человек и камень

О чем говорит название ювелирного камня

Что в имени тебе моем?

.....
 Оно на памятном листке
 Оставит мертвый след, подобный
 Узору надписи надгробной
 На непонятном языке.

А. С. Пушкин. 1830 г.

Парадокс современной жизни: новые открытия, изобретения вроде бы обогащают ее, снабжают новыми вещами и понятиями, и в то же время наша жизнь беднеет — из нее уходит символика, притупляется живое, красочное ее восприятие, образы распадаются в колонки цифр... Как мудро подметил М. В. Ломоносов, «...все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавить, то это отнимается у чего-то другого». Куда же уходит «отнявшаяся» символика? Она не растворяется в воздухе, как дым, но переходит в наше подсознание, и это не так уж хорошо. Над подсознанием мы пока не властны, оно как раскаленная магма прорывается в область осознанного внезапно, волнуящее, а иногда и страшно. Задумывались ли вы когда-нибудь над своим именем, что оно означает, какова его символика? Астрологи первыми обратили внимание на некую связь между названием и предметом, к которому оно относится. Впервые внятно сформулировал это наблюдение автор восьмитомного руководства по астрологии римский философ Боэций (около 480—525). Давайте рассмотрим пару случайных на первый взгляд фактов. На западе Австралии в сотне километров от порта Дарвин возникает поселок Кимберли, названный просто так, в честь знаменитого африканского центра алмазодобычи — об алмазах тогда в Австралии и не думали. И вот в 70-х годах XX века около этого поселка открываются алмазные месторождения, да такие крупные, что ныне Австралия может войти в первую десятку стран, добывающих

алмазы. Другой «случайный» пример. Хилого от рождения, болезненного мальчика называют Александром, что означает «мужественный помощник, защитник людей». Юноша поступает на военную службу, закаляет себя и становится знаменитым полководцем А. В. Суворовым. В этом случае влияние имени понятно. Молодое поколение того времени воспитывалось на «Жизнеописаниях» Плутарха, и тень великого Александра Македонского реяла над сознанием мальчика. Внук его, тоже Александр, родившийся уже после смерти деда, — генерал-адъютант, инспектор всей русской пехоты в 1866—1882 годах. Здесь уже имя деда вело человека вперед. Кстати, старинный русский обычай называть детей в честь дедушек и бабушек имеет под собой практическую основу: ребенок получает имя предка, достойно прожившего свою жизнь, что и на внука накладывает негласное обязательство не посрамить честь рода.

Таким образом, знание происхождения названия вашего ювелирного камня имеет не только познавательную ценность, но поможет вам лучше понять его, теснее войти с ним в контакт.

Названия ювелирных камней можно разбить на три группы. Наиболее древняя из них связана с мифами и легендами. В названиях другой группы отражено какое-либо свойство камня. Зачастую происхождение этих названий не менее древнее, чем в первой груп-

* Интересующиеся значением своего имени могут найти его в книге А. В. Суперанской «Как вас зовут?», выдержавшей с 1964 года несколько изданий.

пе. И наконец, многие камни получили ситуационное название — по месту открытия, в честь его открывателя или какого-нибудь популярного в это время деятеля; иногда — для увековечения некоего события. Примером может служить авантюрин, от итальянского «аввентуре» — случай — в честь случайного синтеза красивой имитации камня, когда медные опилки по недосмотру попали в сосуд с расплавленным стеклом на стекловарне в Мурано близ Венеции. Случается, что, казалось бы, ясное название может ввести в заблуждение. Так, популярный в России в XIX веке желто-зеленый пушкинит, русская разновидность прозрачного эпидота, назван не в честь великого поэта, а в честь М. Н. Мусина-Пушкина, видного деятеля горного дела в России. В некоторых случаях происхождение названия столь древнее, что установить, откуда оно взялось и что означает, не удастся. Это относится к изумруд, яшме.

Довольно сложна этимология названия **алмаза**, который на других языках называется диамантом, адамантом, а ограненный — бриллиантом. Как предполагают, название «алмаз» происходит от арабского «ал-мас» — «твердый». Греки называли его адамантом, от «адамас» — «несокрушимый, неизменяемый». В древности эти определения касались не только твердости, но и других качеств, алмазу не свойственных. Лукреций и Плиний утверждали, что алмаз не горит в огне, не раскалывается под ударами молота. «Испытание, — пишет Плиний, — производится на наковальне: на нее кладут адамант и ударяют молотом. Тогда оказывается, что адамант отталивает молот, между тем как от ударов наковальня нередко трескается». Мы теперь хорошо знаем, что алмаз — чистый углерод и прекрасно горит. Об «исчезновении» алмаза под влиянием сильного нагрева или при действии сфокусированных солнечных лучей сообщили впервые Р. Бойль и Косьма III, великий князь Тосканский в 90-х годах XVII века. «По-настоящему» сожгли прекрасный алмаз, пожертвованный для науки известным французским любителем Годфруа-де-Виль-

етанезом, 26 июля 1771 года химики Дарсэ, Руэлль и Макэ. Интересно, что слово «адамас» возродилось в названии адамантаса — углеводорода $C_{10}H_{16}$, построенного по типу алмаза и необычно термостабильного (до $660^{\circ}C$) для органического соединения. Его производное — ремантадин врачи назначают при гриппе. Европейская форма названия «адамант» — «диамант» распространена в названиях алмазоносных местностей: в Аргентине — река и город Диамант, в Бразилии — плато Диамантина. Слово «бриллиант» происходит от французского «брильян» — блестящий, сверкающий.

Происхождение названия **бирюзы** ведется от ее символики. В мусульманских странах она считалась камнем победы, одно только лицезрение которого приравнялось к чтению Корана. Отсюда персидское происхождение этого слова: «фероза» — победа, «пируз» — победитель. Легенда утверждает, что название произошло от имени царя Фируза (Пероза), при котором были открыты первые рудники бирюзы. Во многих языках бирюза называется «туркуз», или «тюркуз», — от франц. «турецкий», поскольку в древности бирюза шла в Европу из Персии через Турцию. Происхождение названия **сапфира**, или сафира, теряется в веках. Возможно, оно происходит от греческого «сапфейрос» — так назывался голубой камень, по-видимому, лазурит. Производят это название и от вавилонского «сипру» — царапающий (за твердость этого камня).

Название **«аметист»**, по-гречески «не пьяный», связано с магическим свойством этого камня предохранять от опьянения.

Камни, внешне похожие на кусочки дерева, а после обработки — на глаза живых существ, так и называются **«глазами»** [кошачьим, тигровым, соколиным]. Если подходить строго, то «кошачий глаз» — это не какой-либо определенный камень, а специфический световой эффект, формируемый включениями волокон асбеста или рутила, наличием полых каналов и другими структурными особенностями. Эффект «кошачьего глаза» проявляется в желтовато-зеленом хризоберилле, в руби-

нах, сапфирах, турмалинах, апатитах, кварцах. Очень редко встречается александритовый «кошачий глаз». Так что когда мы читаем в Библии (во второй книге Моисеевой), что жезл Аарона (старшего брата Моисея) был украшен «кошачьим глазом» с выгравированными на нем именами 12 колен Израиля, — совершенно невозможно сказать, о каком камне идет речь.

Некоторые из интересных названий ювелирных камней обязаны сходством или внутренним родством (реальным или воображаемым) с растением. Считается, что **гиацинт** назван по одноименному цветку из семейства лилейных — за его характерный красный цвет. В догреческой мифологии Гиацинт (Гиакинт, Иакинт, Гиакинф) — божество растительности. В греческих мифах это любимец Аполлона, прекрасный юноша, которого полюбил бог ветров Зефир, приревновал к Аполлону, и когда тот обучал Гиацинта метанию диска, направил брошенный богом диск в голову Гиацинта; обильно брызнула кровь, из которой и вырос цветок — гиацинт. Обращение к магическим свойствам камня гиацинта, а именно к приписываемому ему свойству предохранять от зачатия, наводит на мысль, что мифическая основа происхождения его названия более правдоподобна, чем «цветочная». Происхождение названия **граната** от плода соответствующего дерева, зерна («гранулы») которого он напоминает, по видимому, бесспорно. Также не вызывает сомнения происхождение названия **гроссуляра**, светло-зеленого подделочного камня, от латинского названия крыжовника, плоды которого этот камень напоминает по форме и цвету.

В заключение перечислим ювелирные камни июля на каждый день рождения по списку польской газеты «Курьер полски»: 1 — агат, 2 — опал, лазурит, 3 — аквамарин, 4 — изумруд, 5 — малахит, 6 — топаз, 7 — янтарь, 8 — горный хрусталь, 9 — сапфир, 10 — гранат, 11 — рубин, 12 — халцедон, 13 — сапфир, 14 — серпентин, 15 — оникс, флуорит, 16 — турмалин, 17 — цитрин, 18 — александрит, 19 — циркон, 20 — амазонит, сфалерит,

21 — горный хрусталь, 22 — агат, 23 — малахит, 24 — гранат, 25 — хризолит, 26 — рубин, 27 — аметист, 28 — цитрин, 29 — бирюза, 30 — яшма, 31 — янтарь.

Зодиакальные камни июля

В июле Солнце проходит вторую и третью декады Рака и первую декаду Льва.

Вторая декада Рака (2—11 июля) формирует сложный, противоречивый характер — с ранним развитием ума и образным мышлением, конфликтуящими друг с другом. Наилучший способ снятия внутреннего напряжения — выход в творчество. У Рака второй декады активная деятельность может сменяться периодами откровенной лени. В целом это великодушные, щедрые люди, не пасующие перед трудностями и всегда готовые помочь ближнему. Они тяготеют к многочисленной семье и, создав ее, ведут как настоящую коммуны. Деньги для них — не цель, а средство. Наименее благоприятный период года для этого психотипа 1—15 марта. Постоянная раздвоенность этой декады дала миру такие оригинальные таланты, как писатель Ф. Кафка, художник М. Шагал, актриса Джина Лоллобриджида, религиозный реформатор Ж. Кальвин, физик П. Капица, покорительница льда Мария Исакова.

Ракам второй декады показан камень гармонии — аметист, приносящий счастье бескорыстным и самоотверженным людям. Тем, кто взял на прицел высокую цель, подойдет опал, поддерживающий таланты владельца, как бы подпитывая его током высокого напряжения. Хорошо также изумруд (см. № 5 брошюры этой серии), носить который рекомендуется в серебряном кольце на мизинце левой руки.

Третья декада Рака (12—22 июля) — это гордый характер, встречающий претворности судьбы мужественно и твердо, не прося ни у кого помощи. Трудно вступает в дружеские отношения. Люди этого типа — мечтательные беспокойные натуры, производящие обманчивое впечатление мягкости. Они наделены своеобразным гип-

Агат	От реки Ахатес на Сицилии (возможно, современная Караби)
Азурит	Перс. «синий»
Аквамарин	Лат. «морская вода»
Альмандин	От Алабанды (Малая Азия) — место находки
Апатит	Греч. «обман». Его ювелирные разновидности часто путали с другими камнями
Берилл	Греч. «бериллос» — любой зеленый минерал
Гагат	От реки Гагай (Малая Азия) — древнейшие копи
Гелиотроп	Греч. «Солнце» и «поворот» — за красный цвет, появляющийся при погружении в воду на солнечном свете
Гематит	Греч. «кровоаво-красный»
Горный хрусталь	Греч. «кристаллос» — лед. До XIII века считалось, что это окаменевший лед
Жадеит	Исп. «бок». Считалось, что он излечивает боли в боку
Жемчуг	Предположительно от его китайского названия «чжень-джу»
Карбункул	Лат. «уголек» за яркий красный цвет
Карнеол	Лат. «мясо» за цвет
Корунд	Санскрит. «курувинда» — рубин (?)
Лазулит	Араб. «азул» — небо, синева
Лазурит	Перс. «синий»
Ляпис	Лат. «камень»
Морион	Лат. «смерть» или греч. «мориссо» — чернить
Нефрит	Лат. «почка» — за внешнее сходство и магическое свойство врачевать болезни почек
Обсидиан	По имени римлянина Обсиана, впервые привезшего камень из Эфиопии
Оливин	По оливково-зеленому цвету
Оникс	Греч. «ноготь» — по внешнему сходству
Опал	Санскрит. «благородный камень» — «упала»
Пироп	Греч. «огненный» — по цвету
Рубин	Лат. «красный»
Сардоникс	Слияние «сард» и «оникс»
Сердолик	Русск. «похожий на сердце», возможно, «сардолик» от «сард»
Серпентин	Лат. «змееподобный» — за вид поверхности, напоминающей змеиную кожу
Топаз	От греч. «топазион» — «искать» — остров в Красном море, часто закрытый туманом
Турмалин	Сингалезск. «турмали» — «притягивающий пепел» (термо- и пьезоэлектрические свойства)
Фианит	По месту получения — Физическому институту АН СССР (ФИАН) — в середине 60-х годов
Халцедон	От древнего названия Халцедон (Калчедон) г. Битиния по побережью Мраморного моря
Хризоберилл	Греч. «золотистый берилл», от «хризос» — золото
Хризолит	Греч. «золотой камень»
Хризопраз	Греч. «золото» и «луково-зеленый»
Циркон	Араб. «циркун» — золотоцветный
Чароит	От р. Чара (Алдан, Якутия) — по месту находки
Эпидот	Греч. «приращение» — за форму кристаллов
Янтарь	Литовск. «гинтарас» — «защита от болезней» — по лечебным свойствам

нотизирующим очарованием, сильнее всего проявляющимся во взгляде. Он притягивает многих людей настолько, что потом им требуются усилия, чтобы освободиться от чар и восстановить свою индивидуальность. Родившиеся в третьей декаде Раки относительно легко зарабатывают деньги и тратят их с гордой небрежностью. Большое значение они придают своему внешнему виду. Женщины этого типа несколько раздражительны, но страстны; в браке, как правило, счастливы, и в карты им тоже везет. Наименее благоприятный период года для Рака третьей декады 20—30 июля. Соединение мечтательности и практичности в этой декаде породило в искусстве Рембрандта, Коро и Модильяни, в поэзии — В. Маяковского и Е. Евтушенко, в технике — авиаконструктора О. П. Сухого, в полярных исследованиях Р. Амундсена и И. П. Мазурука, в политике — Л. Б. Каменева и А. А. Громыко, в спорте — гандболистку Нину Лобову и гимнастку Софью Муратову.

Ракам третьей декады созвучен лунный камень, усиливающий интуицию, возбуждающий воспоминания, придающий благоразумие (см. № 3 брошюры этой серии). Подходят им также горный хрусталь и кошачий глаз (см. № 5, 6 брошюры этой серии).

Первая декада Льва (23 июля — 2 августа) представляет интеллигентный, но беспокойный характер. Львы первой

декады подвержены противоречивым порывам и легко бросаются из одной крайности в другую, везде проявляя твердость и негибкость. Остро нуждаются во внимании и ласке. Не чужды риску, склонны увлекаться химерами, но к счастью, в последний момент благоразумие их останавливает. Споспобны и на мягкость, и на деспотизм. Часто обладают литературным талантом. Заботятся о потомстве и временно составляют завещание. Женщины — волевые, честолюбивые, энергичные, умеющие лепить свою судьбу собственными руками. Обладают призванием к врачебной деятельности. Наименее благоприятный период года для Львов первой декады — февраль. Выход глубинному авантюризму своей души нашли в литературном творчестве А. Дюма-отец и Б. Шоу, в бизнесе — Генри Форд, в жизни — Денис Давыдов, в шахматах — Людмила Руденко, в кино и театре — В. В. Максимова и Н. К. Черкасов, в спорте — метательница диска Тамара Данилова.

Первой декаде Льва рекомендуется камень Солнца — алмаз, привлекающий к владельцу счастье и успех в предприятиях (см. № 4/1990 брошюры этой серии). Подходят также активизирующие ювелирные камни — рубин, сапфир, янтарь, «тигровый глаз». Рассудительным представителям этого психотипа не повредит сердолик.

Научно-популярное издание

**Андрей Сергеевич Монин,
Юрий Александрович Шишков**

ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Главный отраслевой редактор
А. Нелюбов
Редактор Л. Иваненко
Худож. редактор П. Храмцов
Художник А. Астрцов
Техн. редактор Н. Клецкая
Корректор Е. Альшевская

ИБ № 10662

Сдано в набор 29.03.90. Подписано к печати 05.06.90. Т-00207. Формат бумаги 60×84¹/₁₆. Бумага для глубокой печати. Гарнитура журнально-рублиная. Печать глубокая. Усл. печ. л. 2,80. Усл. кр.-отт. 6,06. Уч.-изд. л. 3,58. Тираж 16 902. Заказ 1078. Цена 20 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 906607.

Ордена Трудового Красного Знамени Калининский полиграфический комбинат Государственного комитета СССР по печати. 170024, Калинин, пр. Ленина, 5.

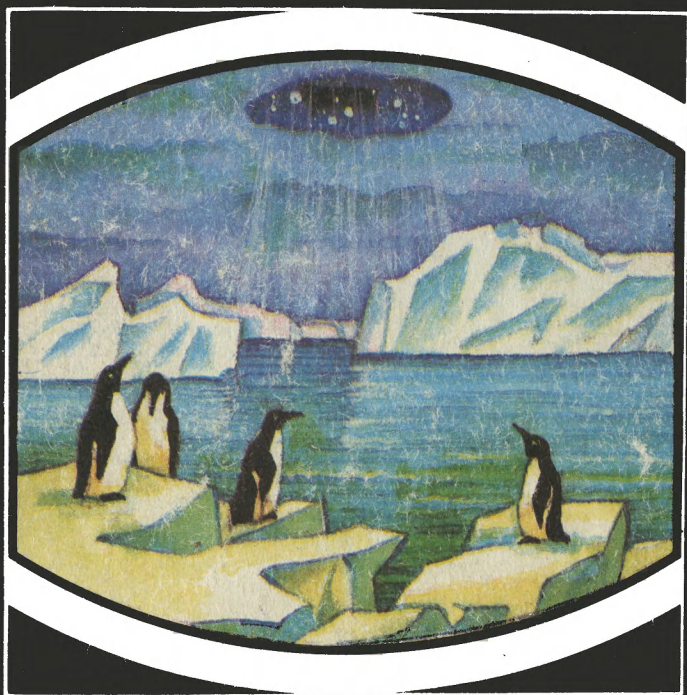
20 коп.

Индекс 70076

Дорогой читатель!

Брошюры этой серии в розничную продажу не поступают, поэтому своевременно оформляйте подписку.

Подписка на брошюры издательства «Знание» ежеквартальная, принимается в любом отделении «Союзпечати».



*Наш адрес:
СССР,
Москва,
Центр,
проезд
Серова, 4*

Цена подписки на год 2 руб. 40 коп.

ЗНАНИЕ