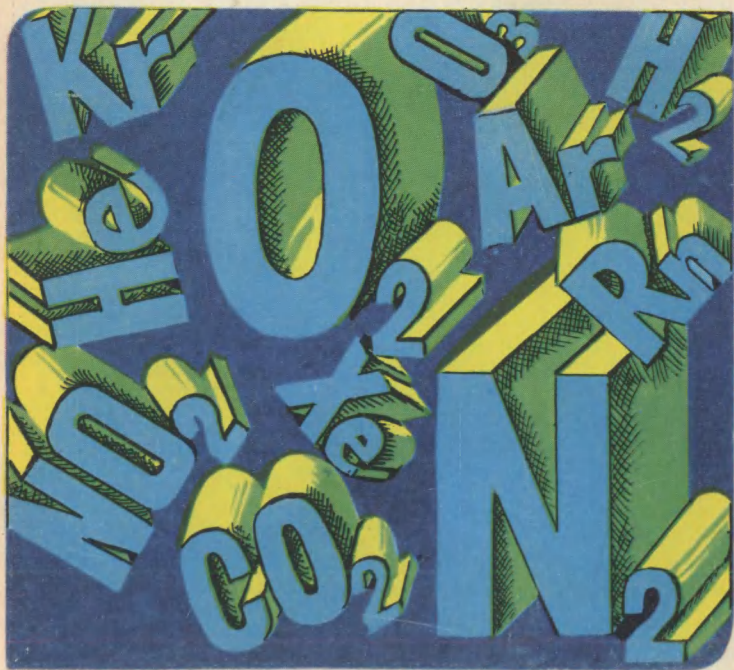


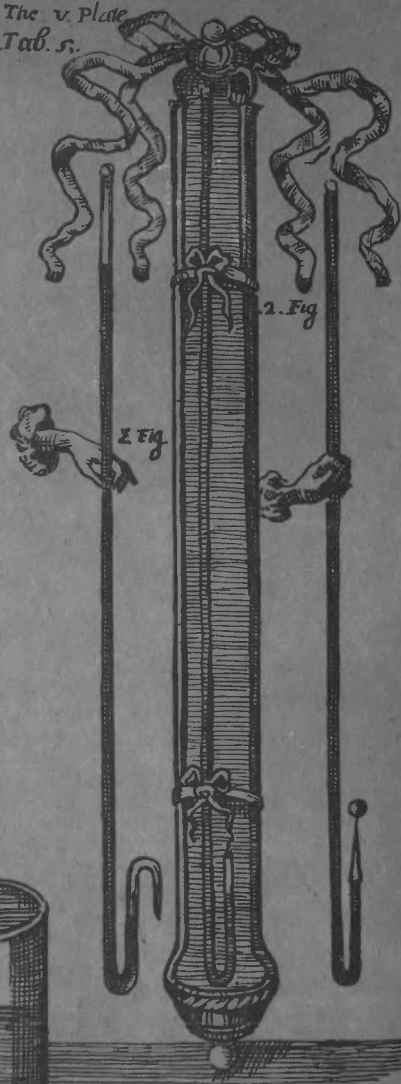
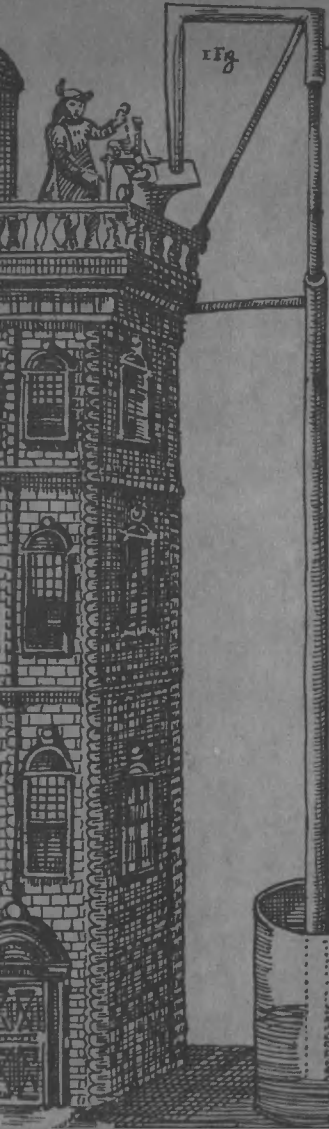
НАУЧНО-
ПОПУЛЯРНАЯ
ЛИТЕРАТУРА

Е. Д. ТЕРЛЕЦКИЙ

Лик невидимки



The v. Plate
Tab. 5.



Лик невидимки



Москва
«Химия»
1982

Терлецкий Е. Д.

Лик невидимки.— М.: Химия, 1982. 192 с., ил.

Эта книга о воздухе, окружающем нашу планету. В ней рассказывается о происхождении земной атмосферы, о составляющих ее газах и их использовании в промышленности, о проблемах создания искусственного воздуха для подводных аппаратов и космических кораблей. Автор затрагивает актуальные вопросы, касающиеся загрязнения атмосферы и охраны чистоты воздушного бассейна.

Книга адресована широкому кругу читателей, интересующихся химией и другими естественными науками, а также вопросами, связанными с защитой окружающей среды.

192 с., 32 рис.

Рецензент: В. Е. ЖВИРЬЛИС

Т $\frac{1801000000-100}{050(01)-82}$ 94-81

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЛОГ	4	
ЗАГАДКА ФЛОРЕНТИЙСКОГО ФОНТАНА	6	
«ЭТАЖИ» АТМОСФЕРЫ	18	
ДУХ, ЗАКЛЮЧЕННЫЙ В КАМНЕ	22	
СКИТАЛЕЦ ВСЕЛЕННОЙ	36	
ГАЗ-ПАРАДОКС	46	
ОГНЕННЫЙ ВОЗДУХ	60	
ПЕРВЫЙ «СЫН» ВОДОРОДА	75	
СТОЛЬ ДОЛГОЕ ОТКРЫТИЕ	82	
КРИПТОН И МЕТР	87	
НЕОН ЗНАЧИТ НОВЫЙ	90	
«ЧУЖОЙ» СРЕДИ СВОИХ	92	
КОНЕЦ НУЛЕВОЙ ГРУППЫ	96	
ЧТО МОГУТ ТРИ АТОМА КИСЛОРОДА	100	
КАПЛЯ РОСЫ	105	
ПЫЛИНКИ ПУТЕШЕСТВУЮТ БЕЗ ВИЗ	115	
КОГДА ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ – ПОЛОЖИТЕЛЬНО	123	
И ВОТ ПРИШЕЛ ЧЕЛОВЕК	130	
ВОЗДУХ ПРОТИВ МЕТАЛЛОВ	141	
ПРЕДЕЛЫ ДОПУСТИМОГО	145	
АВТОМОБИЛЬ: ДРУГ ИЛИ ВРАГ?	149	
КАК ОБРУБИТЬ «ЛИСИЙ ХВОСТ»	154	
ВОЗДУХ, КОТОРЫЙ МЫ ВЫБИРАЕМ	160	
ЧЕМ ДЫШАТ У НЕПТУНА	163	
ФОРТОЧКА В КОСМОС	170	
ЛИТЕРАТУРА	190	

ПРОЛОГ

«Речь, Зрение, Слух, Мысль и Дыхание состязались друг с другом, говоря: «Я – песнь, я – песнь». Они сказали: «Хорошо, оставим это тело, и пусть будет песней тот из нас, кто, выйдя из тела, заставит его упасть». Речь вышла из тела, но тело продолжало существовать, лишенное речи, поглощая пищу и питье. Зрение вышло из тела, но тело продолжало существовать, не видя, поглощая пищу и питье. Слух вышел из тела, но тело продолжало существовать, не слыша, поглощая пищу и питье. Мысль вышла из тела, но тело продолжало существовать, не мысля, поглощая пищу и питье. Дыхание вышло из тела. Когда дыхание вышло из тела, тело упало. Оно разложилось. И о теле сказали: тело стало телом...

Они стали состязаться, говоря: «Я – песнь. Я – песнь». Они сказали: «Хорошо, войдем в тело вновь, и пусть будет песней тот из нас, кто, войдя в тело, заставит его восстать». Речь вошла в тело, но тело продолжало лежать. Зрение вошло в тело, но тело продолжало лежать. Слух вошел в тело, но тело продолжало лежать. Мысль вошла в тело, но тело продолжало лежать. Дыхание вошло в тело, и тело восстало. Дыхание стало песней. Поэтому лишь дыхание есть песнь. Пусть знают люди, что дыхание – песнь»*.

*Древнеиндийская философия. М., Мысль, 1972, с. 76–77.

Эта притча из древнеиндийских ведических книг, которым насчитывается более трех тысячелетий, лишний раз говорит о том, что еще наши далекие предки хорошо понимали, что без дыхания нет жизни. В самом деле, кому не известно, что без пищи можно прожить более двух месяцев, без воды – пару суток, а без воздуха не протянешь и пяти минут...

Жизнерадостные одесситы, например, по-своему оценили достоинство воздуха, распевая в свое время такие озорные куплеты:

Воздух – хорошенький предмет!
Воздухом живет весь свет
Уже много тысяч лет...
Воздух – хорошенький предмет!

Рефрен этой песенки, несмотря на незамысловатый юмор, содержит, на наш взгляд, глубокий смысл. Воздух – это действительно «предмет», достойный самого пристального внимания и изучения. Испокон веков он был загадочен, многолик и необъятен... Что же представляет собой этот «предмет» и почему именно воздухом «живет весь свет»? На эти вопросы человек получил ответы далеко не сразу.

ЗАГАДКА ФЛОРЕНТИЙСКОГО ФОНТАНА

— Вы знаете, Адам, новость — на каждого гражданина давит столб воздуха силою в двести четырнадцать кило!

И. Ильф и Е. Петров.
«Золотой теленок»

Невидимое и неосязаемое «нечто» воздуха ставило в тупик древних мудрецов. Его Величество Эксперимент был еще впереди, и истина добывалась путем наблюдений и умозаключений, носивших зачастую мистический характер. Так, древнегреческий философ Анаксимен из Милета, живший около 2500 лет назад, утверждал, что все сущее происходит из первоматерии — воздуха — и обратно в нее возвращается. По его учению, воздух бесконечен, вечен, подвижен... Сгущаясь, он образует сначала облака, затем воду и, наконец, твердые тела: землю и камни...

Спустя сто лет после Анаксимена Эмпедокл из Агригента в своей философской поэме «О природе» впервые выдвинул идею о четырех первоэлементах — стихиях: земле, воде, воздухе и огне. В те далекие времена древние греки пытались не только познать устройство мира, но и проникнуть в тайны атмосферных явлений, происходивших «между небом и землей» и названных «метеорами» — воздушными явлениями.

Собственно, тогда и зародилась метеорология — наука об атмосфере, ее строении, свойствах и происходящих в ней процессах. Ее основателем считается величайший ученый древности Аристотель, который создал первый научный труд, обобщающий представления того времени об атмосфере, — «Метеорология». Именно Аристотель высказал предположение, что Земля представляет собой шар и что поэтому воздушная оболочка, окружающая нашу планету, должна быть сферической. Это и выражается словом *атмосфера* (по-гречески *атмос* — пар, ды-

хание, а сфера—шар). В русскую науку это слово ввел наш замечательный ученый Михаил Васильевич Ломоносов.

И хотя Аристотель предполагал, что воздух обладает массой, доказать этого он не смог. Ученый взял два одинаковых бурдюка, один из которых тщательно сплющил, чтобы выпустить оттуда весь воздух, а другой надул ртом. Оба бурдюка Аристотель взвесил, но никакой разницы не обнаружил. Так верный в принципе опыт не дал правильных результатов из-за отсутствия совершенных «дутьевых» средств. Взвесить воздух удалось только через две тысячи лет после Аристотеля. Это сделал Галилео Галилей. С помощью весьма примитивного насоса он установил, что сосуд со сжатым воздухом весит больше, чем таковой с воздухом при обычном давлении. Итак, воздух обладает массой!

Теперь предстояло сделать второй шаг: определить плотность воздуха. Аристотель не знал закона Архимеда, так как до его открытия оставалось еще сто лет. Зато во времена Галилея этот закон уже был известен. Однако никому не приходило



Аристотель
(384–322 до н. э.)

Величайший древнегреческий философ и естествоиспытатель, ученик Платона. Аристотель был воспитателем Александра Македонского, основал в Афинах философскую школу—Ликей. Он систематизировал практически все отрасли знаний своего времени. Его идеи главенствовали в науке в течение почти двух тысячелетий.



Галилео Галилей
(1564–1642)

Великий итальянский ученый, один из основателей точного естествознания, основоположник экспериментальной физики. Галилей опроверг некоторые ошибочные взгляды Аристотеля. Он открыл закон свободного падения тел, закон колебания маятника, построил первый телескоп.

в голову, что его можно применить к воздуху — этой субстанции, якобы наделенной самыми фантастическими свойствами. Галилей знал и закон Архимеда, и тот факт, что воздух обладает массой. Дело оставалось за малым: взвесить воздух, но не в воздухе, а, скажем, в... воде. Галилей придумал остроумный прибор и, используя все тот же нагнетательный насос, определил плотность воздуха, которая, по его расчетам, оказалась равной $1/400$ плотности воды. И хотя ученый ошибся почти в два раза, по тем временам это был неплохой результат, по крайней мере порядок величины был найден верно (на самом деле она составляет $1/775$).

Справедливости ради следует сказать, что за несколько лет до Галилея его соотечественник Джованни Баптиста делла Порта, основавший в 1560 г. в Неаполе Академию таинств природы, ставил опыты, опровергавшие представления о невесомости атмосферы. Однако делла Порта, обвиненный инквизицией

в ереси, спасаясь от сожжения на костре, вынужден был отказаться не только от своих экспериментов, но и от «еретических» воззрений. Академия его была закрыта... (У Галилея и делла Порта были сходные судьбы: оба подвергались нападкам инквизиции, оба, по крайней мере публично, отреклись от своих взглядов. Они через много лет встретились в другой академии, которая называлась Академия деи Линчеи...)

Если воздух обладает массой, то он должен оказывать давление. Эта прописная для нас истина во времена Галилея не была известна. Ее рождение также связано с именем этого замечательного ученого и с именами его учеников Торричелли и Вивiani. С этим связывают следующую историю.

Летом 1640 г. во Флоренции великий герцог Госканский давал бал и предвкушал изумление гостей, которых он собирался поразить великолепием невиданного фонтана, сооруженного специально по этому поводу. Однако представление не состоялось. Поршневые насосы не смогли подать воду в бак, из которого она должна была поступать в фонтан. Вода никак не желала подниматься выше 20 футов (7 м). Не добившись от своих механиков объяснения причин столь странного повеления обыкновенной воды, герцог решил обратиться к самому Галилею, доживавшему последние годы в изгнании неподалеку, на вилле Арчетри. Великий ученый, которому тогда минуло 76 лет, был немощен и слеп, но все же он заинтересовался любопытной проблемой, понимая, что дело в давлении воздуха, которое тот оказывает на воду благодаря своей массе. Но вскоре Галилей умер, а загадка флорентийского фонтана осталась...

Ее разрешил Эванджелиста Торричелли, ученик Галилея, придворный математик с внешностью скорее мушкетера, чем ученого. Впрочем, портрет этого человека, как и знаменитый опыт, прославивший его навеки, известен любому школьнику, начавшему изучать физику. Торричелли решил проверить предположение своего учителя о том, что всасывающие насосы не могут подавать воду выше определенной высоты (теоретически она равна 10 м, практически же из-за неплотностей и несовершенства конструкции насоса — только 7–8 м) и что это явление связано с давлением воздуха. Для этого нужна была стеклянная трубка длиной по крайней мере метров десять, т.е. высотой с трехэтажный дом. Тогда в ней можно было бы наблю-



Эванджелиста Торричелли
(1608–1647)

Подобно своему великому учителю Галилею, был сторонником эксперимента. Изобрел ртутный барометр, усовершенствовал артиллерийский угломер, вывел формулу истечения жидкости. Торричелли открыл существование атмосферного давления и вакуума (торричеллева пустота).

дать столб воды, уравновешивающий воздушное давление. Разумеется, манипулировать с таким громоздким прибором было бы трудно. Торричелли решил, что если вместо воды взять другую, более тяжелую жидкость, допустим, ртуть, то высоту трубки можно уменьшить во столько раз, во сколько ртуть тяжелее воды, т.е. почти в 14 раз.

Опыт виделся Торричелли предельно простым: стеклянная трубка с закрытым концом, заполненная ртутью, опрокидывается в стеклянный сосуд, в который тоже налита ртуть. Столбик ртути и должен соответствовать давлению воздуха. Впервые, в 1643 г. этот опыт проделал Винченцо Вивiani, работавший с Торричелли. Трубка, которую использовали Торричелли и Вивани, имела длину три фута, т.е. около метра. Столбик ртути, после того как трубку переворачивали закрытым концом вверх, несколько опускался и затем оставался практически на одном и том же уровне, около 2,5 футов (76 см), считая от свободной поверхности в открытом сосуде. Всякий раз, когда ставился опыт, результат был неизменным. Но самым интересным было, пожалуй, то, что над столбиком ртути воз-



Блез Паскаль
(1623–1662)

За 39 лет своей жизни этот крайне болезненный человек успел многое. Его перу принадлежат труды по математике, теории вероятностей, гидростатике, философии. Единица давления и механического напряжения в Международной системе единиц носит его имя.

никала пустота, та самая, которую впоследствии назвали *торричеллевой*.

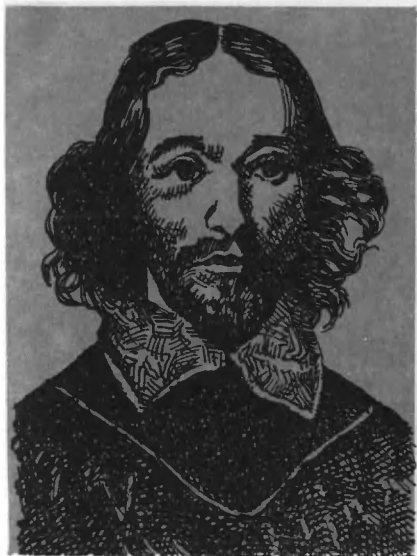
Вот что писал сам Торричелли по этому поводу:

«До сих пор принимали, что сила, удерживающая ртуть от естественного стремления опуститься, находится внутри верхней части сосуда – в виде пустоты или весьма разреженной материи. Я же утверждаю, что причина лежит вне сосуда, происходит извне: на поверхность жидкости давит воздушный столб»*.

Нехитрый прибор для измерения давления атмосферного воздуха впоследствии назвали *барометром*, что по-гречески дословно означает *измеритель веса*.

Опыты с барометром продолжил выдающийся французский ученый и философ Блез Паскаль. Мысль этого молодого чело-

*Цит. по кн.: Мишкевич Г. И. Мастер-невидимка. Л., Судостроение, 1966, с. 11.



Отто фон Герике
(1602–1686)

Этот человек не удовлетворялся должностью бургомистра. Его страстью была наука. Герике не только выяснил природу атмосферного давления, но и сконструировал одну из первых электростатических машин. Говорят, что именно он впервые высказал мысль о возвращении комет.

века, разбитого параличом и еле передвигавшегося на костылях, не знала покоя. Он подметил, что высота ртутного столбика в барометре не строго постоянна, а колеблется время от времени. По-видимому, такие колебания были вызваны переменной атмосферного давления. Решив проверить эту догадку, Паскаль экспериментировал с громадными стеклянными трубками-барометрами, наполненными различными жидкостями. Один из таких барометров, заполненный вином, имел высоту 46 футов (более 15 м). Однако испытав явное неудобство при работе с громоздкими приборами, ученый возвратился к ртутному барометру...

Паскаля не покидала мысль, что атмосферное давление зависит от высоты над Землей. Для подтверждения этого предположения хорошо было бы, скажем, подняться с барометром на высокую гору. Но самому Паскалю это было не под силу. Он попросил своего родственника, жившего в Клермон-Ферране, совершить восхождение на гору Пьюи де Дом высотой почти полтора километра. Через десять месяцев от неторопливого, но

исполнительного родственника пришел ответ, в котором подтверждалось, что давление на вершине горы действительно меньше, чем у подножия.

Современник Торричелли и Паскаля немецкий физик Отто фон Герике, видимо, совершенно не подозревая об опытах своих коллег, доказал существование атмосферного давления несколько иным путем. Он был бургомистром города Магдебурга, разрушенного во время Тридцатилетней войны, и много сделал для его восстановления и процветания. Однако бургомистр не забывал и про науку, которой был увлечен до чрезвычайности. Подобно Паскалю, он занимался измерением давления атмосферного воздуха при помощи 12-метрового водяного барометра. В непогоду уровень воды в нем понижался. Это обстоятельство однажды позволило Герике предсказать сильную бурю.

В 1650 г. Отто фон Герике изобрел воздушный насос, с помощью которого можно было создавать вакуум. Тогда-то он и определил массу воздуха. Герике взял стеклянный шар и взвесил его. Затем выкачал из него воздух и снова взвесил. Шар стал легче. Зная объем шара, вычислить массу воздуха в нем было уже делом несложным.

В 1654 г. во время заседания рейхстага в городе Регенсбурге на главной площади в присутствии императора Фердинанда III и при большом стечении народа Герике поставил свой знаменитый опыт, доказывающий существование атмосферного давления: Это, пожалуй, была одна из первых публичных демонстраций торжества научного эксперимента. Вероятно, большую роль здесь сыграла любовь магдебургского бургомистра к внешним эффектам, но это несколько не умаляло его достоинств как ученого.

С помощью кузнецов Герике соединил вместе два полых медных полушария, между которыми была помещена кожаная прокладка. Таким образом получился пустотелый шар, из которого насосом, подсоединенным к штуцеру одного из полушарий, стали откачивать воздух. Затем Герике перекрыл кран на штуцере, и к полушариям, имевшим кольца, прикрепили упряжки, по восемь лошадей с каждой стороны. Бедные животные, понукаемые кнутами, еле-еле со страшным шумом оторвали полушария друг от друга. Но это при первой попытке. Во второй



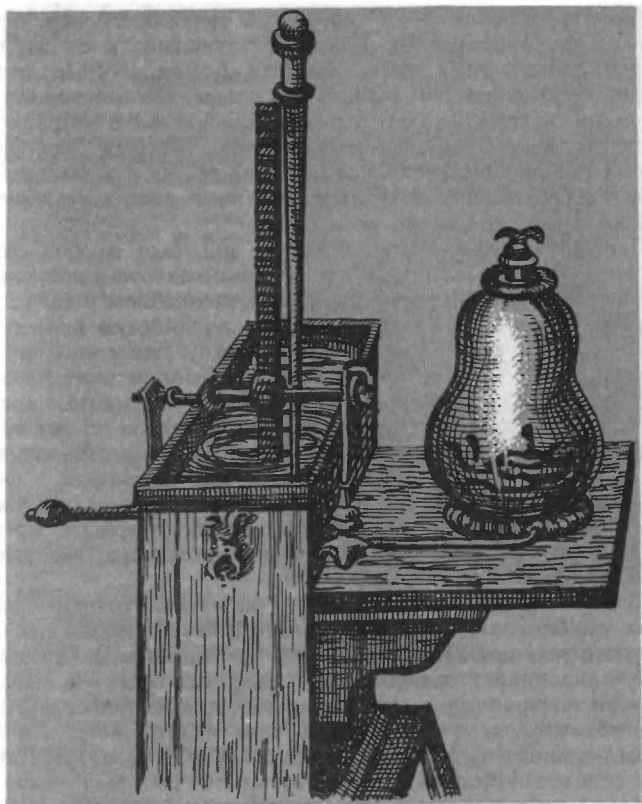
Роберт Бойль
(1627–1691)

Выдающийся английский ученый, один из основателей Лондонского королевского общества. Сформулировал первое научное определение химического элемента, ввел в химию эксперимент, положил начало химическому анализу. Бойль считается основоположником современной химии.

раз, когда воздух откачали более тщательно, разъединить полушария уже не удалось. Описание этого опыта вошло во все учебники физики, а полушария получили название *магдебургских* в честь милого сердцу Герике Магдебурга.

Так было окончательно доказано, что воздух обладает массой и оказывает давление на все тела, находящиеся в атмосфере. Недаром Торричелли заметил, что мы живем на дне воздушного океана.

В год, когда умер Галилей, Роберту Бойлю, седьмому из четырнадцати детей английского графа Корка, исполнилось пятнадцать лет. Это был любознательный юноша, учившийся в аристократическом колледже Итона и продолживший затем образование в Женеве. Он много путешествовал. В Италии и Франции Бойль участвовал в дискуссиях ученых мужей из различных академий. Знакомство с наукой европейского континента не прошло даром для молодого англичанина, на которо-



Воздушный насос Бойля

го особое впечатление произвели эксперименты с воздушным насосом и барометром. Кстати, именно Бойль впервые назвал барометром прибор для измерения атмосферного давления. Вернувшись на родину, он решает самостоятельно заняться изучением свойств воздуха. Прежде всего Бойль берется за усовершенствование воздушного насоса Герике, а затем объясняет

его работу. Для этого ему пришлось сначала изучить поведение воздуха в замкнутом объеме в зависимости от давления. В 1660 г. появилась первая работа Бойля «Новые эксперименты, касающиеся воздушной пружины». Сжимающийся воздух подобен пружине, его объем уменьшается с возрастанием давления. Такой вывод сделал Бойль, открыв тем самым первый газовый закон. Однако ученый не вполне осознал значение своего открытия, считая, что ему удалось установить просто интересное свойство воздуха.

Первый газовый закон через 16 лет был заново открыт французом Эдмом Мариоттом, который изложил его в своем сочинении «Опыт о природе воздуха», вышедшем в 1676 г. Мариотт ничего не знал о том, что его английский коллега уже обнаружил обратную зависимость между давлением и объемом воздуха в замкнутом пространстве, но подошел к этому явлению более осмысленно, понимая его фундаментальное значение. И хотя во Франции первый газовый закон до сих пор называют законом Мариотта, во всем мире он известен как закон Бойля – Мариотта. С этого начинается изучение газов в любом учебнике по физике и общей химии. Не потому ли уже со школьной скамьи словосочетание Бойль – Мариотт представляется нам двойной фамилией одного человека, как скажем, Гей-Люссак...

Кстати о Гей-Люссаке. Именно он открыл второй газовый закон, опубликовав его в 1802 г., почти через 150 лет после публикации закона Бойля – Мариотта. И если первый газовый закон устанавливает зависимость между давлением и объемом газа при постоянной температуре, то второй – зависимость между объемом и температурой при постоянном давлении.

Выдающийся французский ученый Жозеф Луи Гей-Люссак, этот отважный исследователь (он много раз был ранен при взрывах в лаборатории и умер от ожогов), был человеком редкого благородства. Он настоял на том, чтобы открытому им второму газовому закону было присвоено имя его соотечественника Жака Шарля, который получил аналогичные результаты еще в 1787 г., но не опубликовал их. Таким образом, этот закон носит имя Шарля, хотя в некоторых странах, в том числе и у нас, его называют законом Гей-Люссака, а иногда законом Шарля – Гей-Люссака.

Жозеф Луи Гей-Люссак
(1778–1850)

Замечательный французский ученый, почетный член Петербургской академии наук. Гей-Люссак открыл газовые законы, которые впоследствии были названы его именем. Занимался изучением атмосферы. Доказал, что хлор, вод, калий и натрий являются химическими элементами. Усовершенствовал технологию получения серной кислоты.



В 1804 г. с целью изучения атмосферных явлений и состава воздуха Гей-Люссак поднимается на воздушном шаре на неслыханную по тем временам высоту—4000 м. Надо сказать, что идея исследования атмосферы при помощи летательных аппаратов занимала ученых давно. В 1749 г. англичанин А. Вильсон запустил воздушного змея, к которому был привязан термометр, и измерил температуру воздуха на высоте нескольких сот метров. Почти за 30 лет до запуска первого воздушного шара Ломоносов сконструировал модель летательного аппарата, напоминающего вертолет. Он считал, что с помощью такого аппарата можно будет поднимать измерительные приборы для исследования воздуха на высоте. Впоследствии русские ученые неоднократно поднимались с приборами на воздушных шарах. В 1887 г. такой полет совершил выдающийся русский химик Дмитрий Иванович Менделеев, который говорил, что «атмосфера—великая лаборатория природы» (курсив наш.— Е. Т.).

«ЭТАЖИ» АТМОСФЕРЫ

Исследования атмосферы с помощью летательных аппаратов позволили установить, что температура воздуха понижается по мере удаления от земной поверхности. Считалось, что такая зависимость сохраняется и на больших высотах.

В конце прошлого века крупный французский метеоролог Л. Тейсеран де Бор, основатель обсерватории в Трапе близ Парижа, сконструировал воздушный шар, известный под названием шара-зонда. Такие шары могли достигать высоты 14 км и спускались затем на землю. Термометры-самописцы, установленные на шарах-зондах, вели себя странно. Сначала эти приборы, как и следовало ожидать, показывали постепенное понижение температуры воздуха почти до -80°C . Затем, по мере увеличения высоты, понижение температуры не регистрировалось. Температура либо оставалась постоянной, либо даже несколько повышалась с высотой. Повышалась? Тейсеран де Бор недоумевал.

Примерно в то же самое время руководитель Германского союза содействия прогрессу авиации Р. Ассман начал исследование атмосферы с помощью воздушных шаров своей конструкции. Он также установил, что на высоте порядка 12 км температура воздуха начинает повышаться. Так на рубеже двух столетий было обнаружено, что атмосфера «слоиста» и что ее физические свойства неоднородны по высоте. В 1902 г. Тейсеран де Бор сообщил об этом открытии на заседании Парижской Академии наук. Нижний атмосферный слой он предложил назвать *тропосферой*, а верхний — *стратосферой*.

Затем были открыты и другие атмосферные слои, отличающиеся друг от друга в основном температурой. В 1962 г. Всемирная метеорологическая организация предложила следующие названия для атмосферных слоев: *тропосфера* (в среднем до высоты 11 км), *стратосфера* (от 11 до 50–55 км), *мезосфера* (от 50–55 до 80–85 км), *термосфера* (от 80–85 до 800 км) и *экзосфера* (выше 800 км). В отдельный слой выделена *ионосфера* — это в значительной степени ионизированный слой воз-

духа в пределах термосферы. Эти слои называют еще и «этажами» атмосферы.

Первый «этаж» — *тропосфера* (от греческого *tropos* — поворот — это приземный слой, в котором происходит постоянный круговорот воздуха. Тропосфера содержит 4/5 всей массы атмосферы и почти весь содержащийся в ней водяной пар. Вот почему здесь образуются облака, идут дожди, падает снег... Здесь зарождаются циклоны, дуют ветры. Недаром тропосферу называют «кухней погоды». Понижение температуры в этом слое происходит плавно, в среднем на один градус с каждым километром высоты. Но у верхней границы тропосферы находится слой толщиной 1–3 км, в котором наблюдается резкий температурный скачок. Этот слой получил название *тропопаузы*. Температура здесь изменяется от -40 до -90°C .

Выше тропопаузы лежит *стратосфера*. Название ее происходит от латинского *stratum* — слой. Нижняя граница стратосферы начинается на разных высотах: в полярных районах — с 8–10 км, в экваториальных — с 16–18 км. Граница между тропопаузой и стратосферой непостоянна и зависит как от времени года, так и от различных атмосферных процессов. Температура в этом слое повышается в среднем на $1-2^{\circ}\text{C}$ с каждым километром высоты и у верхней границы становится даже положительной.

Еще не так давно предполагали, что в стратосфере никогда не бывает ни ветров, ни бурь, поэтому газы разделены здесь по слоям, в соответствии с плотностью. Метеорологические наблюдения позволили проникнуть в сущность стратосферных процессов. Этому в немалой степени способствовало появление радиозонда, сконструированного советским профессором П. А. Молчановым. Первый радиозонд, оснащенный метеорологическими приборами, был запущен в 1930 г.

Начало 30-х годов ознаменовалось победой человека над высотой: в мае 1931 г. бельгийский профессор О. Пикар и молодой швейцарский ученый П. Кифер впервые осуществили полет в стратосферу на стратостате с герметичной гондолой. Они достигли высоты 16 км. Через три года советский стратостат «СССР-1» с экипажем из трех человек (Г. Прокофьев, Э. Бирнбаум и К. Годунов) достиг высоты 19 км.

Исследования стратосферы радиозондами и взятие проб воздуха со стратостатов позволили определить, что состав воз-

духа даже на больших высотах остается постоянным. И в стратосфере бушуют ураганы, дуют ветры, происходит перемешивание воздуха. Позже при помощи реактивных самолетов, ракет и спутников было установлено, что перемешивание воздуха происходит на такой высоте, которой не могут достигнуть стратостаты (рекордная высота — свыше 29 км — была достигнута американскими стратонавтами в 1957 г.).

Выше стратосферы находится переходный слой — *стратопауза*. Здесь повышение температуры с высотой прекращается. А выше 55 км температура даже понижается. Там начинается новый слой — *мезосфера* (от греческого *mesos* — промежуточный). Температура в этом слое опускается до -90°C , а верхняя граница находится на высоте около 80 км. Любопытно, что в верхней части мезосферы температура летом на несколько десятков градусов ниже, чем зимой.

Верхней границей мезосферы является слой, лежащий на высоте от 80 до 90 км, который называется *мезопаузой*. Выше мезопаузы перестают действовать общие законы атмосферы. Здесь легкие газы отделяются от более тяжелых, под влиянием солнечного излучения происходит диссоциация молекул O_2 .

Выше мезосферы температура снова начинает повышаться и на высоте 200 км составляет 500°C . На высоте 600 км температура уже достигает 1500°C ! Этот слой вполне заслуженно получил название *термосферы*. С помощью искусственных спутников удалось установить, что в верхних слоях термосферы температура достигает 2000°C и меняется в течение суток. Кажется, что в таком двухтысячеградусном пожаре может сгореть все. Но его жар не растопит даже лед. Вспомним, что температура газа — это мера средней скорости движения его молекул. В плотных слоях атмосферы молекулам «тесно». Они постоянно сталкиваются между собой и скорость их невелика (сотни метров в секунду), следовательно, невысока и температура. В верхних, разреженных слоях, где расстояния между молекулами газов значительны, условия иные. В приземном слое воздуха в 1 см^3 содержится $2,7 \cdot 10^9$ молекул, а в том же объеме термосферы — всего лишь десятки и сотни тысяч молекул. В термосфере молекулы могут разгоняться до очень больших скоростей, чем и объясняется высокая температура этого слоя.

Экзосфера – *сфера рассеяния* – самый верхний «этаж» атмосферы. Он находится на высоте свыше 800 км. Этот слой исследован еще очень слабо. Здесь температура превышает 2000°С, а атмосфера настолько разрежена, что молекулы газов, двигаясь с большими скоростями, почти не сталкиваются друг с другом.

Еще не так давно считали, что граница атмосферы проходит на высоте примерно 1000 км. Но затем было установлено, что и на такой высоте еще имеется атмосфера, правда, очень разреженная. На вопрос, где кончается атмосфера, однозначно ответа пока нет.

В верхних слоях атмосферы воздуха в обычном понимании уже нет. Начиная с высоты примерно 800 км, преобладающими газами являются водород и гелий – самые легкие элементы Вселенной. И они в конце концов покидают пределы земной оболочки. Это явление получило название *диссипации*, что по-латыни означает *рассеяние*. А другие газы атмосферы? Ведь они тоже могут диссипировать. Скажем, на Луне газообразной оболочки – атмосферы нет, хотя она там когда-то была. Не грозит ли и нашей планете потеря всей воздушной оболочки?

Вопросы стабильности атмосферы волновали ученых уже и в девятнадцатом веке. Вот, что, например, писал Фридрих Энгельс в «Диалектике природы»:

«Кинетическая теория должна доказать, как молекулы, стремящиеся вверх, могут одновременно оказывать давление вниз, и как они, – предполагая, что атмосфера более или менее постоянна по отношению к мировому пространству, – могут, несмотря на силу тяжести, удаляться от центра Земли, но, однако, так, что на известном расстоянии, – после того как сила тяжести уменьшилась согласно квадрату расстояния, – они приходят благодаря ей в состояние покоя или же бывают вынуждены повернуть обратно»*.

Известно, что для преодоления земного притяжения тело должно обладать критической скоростью, равной 11,2 км/с. И атом, и молекула, и космический корабль, достигнув критической скорости, покидают пределы нашей планеты. Теоретически все газы, составляющие земную атмосферу, могут дисси-

*Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 20. М., Госполитиздат, 1961, с. 601.

пировать, так как среди их атомов и молекул есть такие, чья скорость превышает критическую, однако расчеты, проделанные, скажем, для кислорода, показывают, что только один из 10^{84} его атомов может достигнуть сверхкритической скорости. Таким образом, этот газ полностью не может улетучиться из атмосферы. Другое дело водород... Доля его атомов, имеющих сверхкритическую скорость, в 10^{79} раз больше, чем у кислорода. Вот почему водород почти совсем отсутствует в нашей атмосфере. То же можно сказать и про гелий, хотя он «более тяжел на подъем». И если время полного улетучивания водорода составляет всего лишь годы, то гелию для этого нужны миллионы лет.

Итак, нашей планете пока не грозит потеря воздушной оболочки, тем более что идет постоянное пополнение атмосферы за счет газов, выделяющихся в ходе естественных процессов.

Многие тысячелетия человечество пыталось познать природу воздуха, его суть, и только сейчас, в последние десятилетия уходящего XX века, можно сказать, что это удалось. «Портрет» воздуха, над которым трудились философы древности и ученые прошлых столетий, еще не закончен, и современные исследователи с помощью самых совершенных космических аппаратов делают на нем последние «мазки». Впрочем, последние ли?

Так каково оно — лицо воздуха, лик невидимки?

ДУХ, ЗАКЛЮЧЕННЫЙ В КАМНЕ

Все кричат о загрязнении окружающей среды, а сами при этом выделяют углекислый газ.

Литературная газета. «Клуб ДС»

Император Тиберий особо провинившихся рабов казнил изощренным способом: связанными их бросали на дно знаменитой Собачьей пещеры, расположенной у подножия Везувия. Через некоторое время бездыханные тела ослушников клали к но-

гам жестокого монарха. А у входа в ту мрачную пещеру буйствовала зелень, как бы подчеркивая разницу между жизнью и смертью. К молодой поросли мы еще вернемся. Пещера же получила свое необычное название потому, что, попав в нее, собаки, кошки и другие мелкие животные быстро погибали, а люди, по крайней мере те, кто твердо держался на ногах, оставались невредимы.

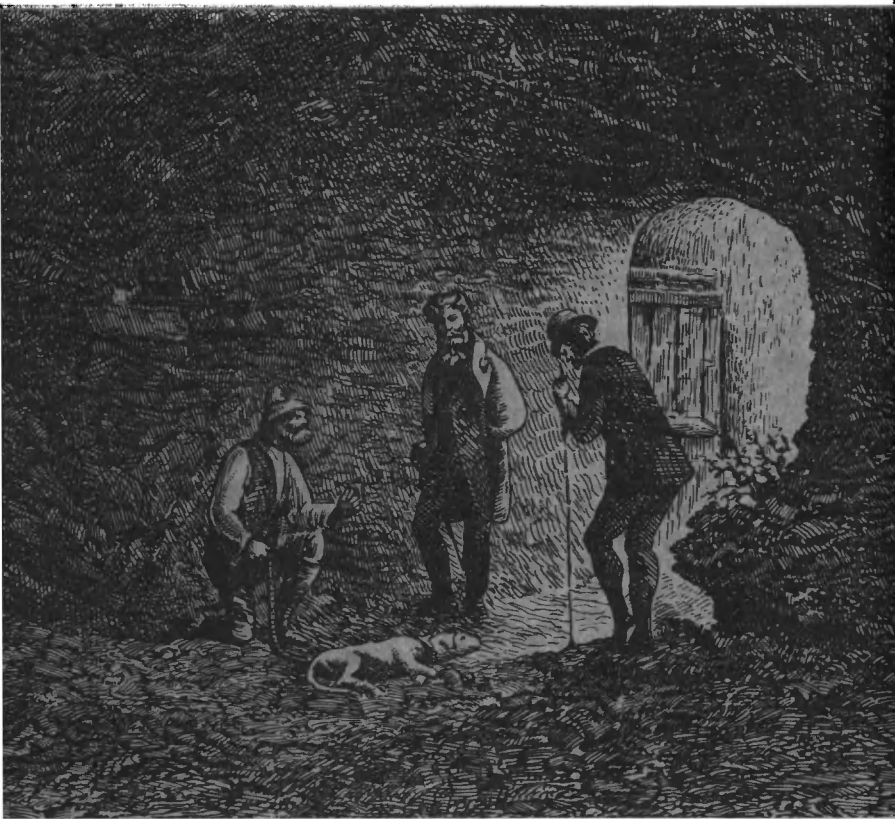
А объясняется все довольно просто. Всею виной углекислый газ (правильнее – двуокись, или диоксид, углерода, CO_2), который в полтора раза тяжелее воздуха. Выходя через трещины, этот газообразный продукт вулканической деятельности образует на дне Собачьей пещеры слой в семьдесят сантиметров. Двуокись углерода при вдыхании безобидна в малых концентрациях, но смертельна в больших. Вот почему погибали и рабы, брошенные на дно пещеры, и попадавшие в нее животные. Значительные количества CO_2 скапливаются не только в пещерах, но и в глубоких подвалах, колодцах, каменоломнях. Отсюда – мрачные легенды о злых духах и гномах, стерегущих несметные богатства и убивающих одним взглядом немногих смельчаков, рискнувших проникнуть в подземные кладовые. Иногда за легендами стояли реальные факты: на дне подземелий находили мертвых. Еще Плиний в «Естественной истории» писал:

«В глубоких колодцах серные и квасцовые вещества убивают землекопов. Чтобы обнаружить опасность, опускают горящую лампу, которая в этом случае гаснет... Воздух становится нездоровым от самой глубины колодца...»*

Известнейший металлург средневековья Агрикола среди причин, из-за которых люди оставляют невыработанные рудники, называет «яд, возникающий в некоторых местах», и «человекоубийственных демонов», от которых ничто не может спасти.

И Плиний, и Агрикола еще не знали, что этот невидимый, неощутимый яд, этот «человекоубийственный демон» есть не что иное как двуокись углерода. И сегодня для некоторых

*Цит. по журн.: Химия и жизнь. 1976, № 1. с. 25.



Собачья пещера

Двуокись углерода, выходя из трещин, скапливается на дне пещеры, являясь причиной гибели попавших в нее собак, кошек и других мелких животных.

ученых двуокись углерода остается мрачным веществом, с которым связаны пессимистические для нашей планеты прогнозы.

История двуокиси углерода – больше, чем история одного единственного вещества.

Собственно говоря, история открытия двуокиси углерода – это погоня за ускользающим духом. Именно так: «духом», или «воздухом», называли любой газ на заре химии. Двуокись углерода была открыта, по-видимому, любознательнейшим человеком своего времени, врачом, ятрохимиком, в какой-то степени алхимиком, приверженцем черной и белой магии, голландцем Яном Баптистом ван Гельмонтом. Он первым обратил внимание на образование какого-то «воздуха» при действии кислоты на известняк или поташ. Подобный же воздух выделялся при брожении пива и при горении дров или древесного угля. Ван Гельмонт понял, что этот «воздух» отличается от воздуха вообще. Он отметил также, что обычный воздух «исчезает» при горении свечи в банке, перевернутой над водой. После одного из своих многочисленных опытов (было сожжено 62 фунта дубовых углей, а получился только один фунт золы) ван Гельмонт с удовлетворением и не без пафоса записал в дневнике:

«Следовательно, остальные 61 фунт превратились в лесной дух... Этот дух, до сих пор неизвестный, я называю новым именем – газ».*

Самому ученому очень понравилось придуманное им слово. Он говорил, что оно созвучно греческому «хаос»... Ван Гельмонт, однако, не мог представить доказательств своего открытия, так как собрать выделившийся газ ему не удалось. Он советовал на то, что открытое им вещество невозможно удержать ни в одном сосуде. И еще долгое время отсутствие приспособлений для улавливания и хранения газов значительно тормозило их дальнейшее исследование. Тем не менее работа ван Гельмонта предвосхитила развитие *пневматической химии* – химии газов.

Эстафету ван Гельмонта приняли английские естествоиспы-

*Цит. по кн.: *Фигуровский Н. А.* Очерк общей истории химии. М., Наука, 1969, с. 154.



Ян Баптист ван Гельмонт
(1579–1644)

Голландский естествоиспытатель, доктор медицины, видный ятрохимик. Ван Гельмонт считается одним из основателей химии газов (пневматической химии). Именно он ввел понятие «газ». Ставил опыты по изучению питания растений и к рассматриваемым явлениям впервые подошел с количественной точки зрения.

татели XVIII в. врач Джозеф Блэк и пастор Джозеф Пристли, человек, как сказали бы сегодня, в науке случайный и бесперспективный (он начал заниматься своими опытами в возрасте 35 лет). Надо сказать, что в те времена не было еще химиков в полном смысле этого слова, и химия находилась практически в ведении врачей, не став еще самостоятельной наукой. Зачастую ею занимались увлекающиеся одиночки и любопытствующие чудачки, одержимые манией исследования. Но именно они возделывали почву науки своим бескорыстным трудом и положили начало величайшим химическим открытиям.

Естественно, что большинство врачей-химиков (или химиков-врачей) смотрело на химический эксперимент как на приложение к медицине. И врач Джозеф Блэк не был в этом смысле исключением, что не помешало ему впоследствии прослыть выдающимся химиком. В своей докторской диссертации он решил опровергнуть бытовавшее в то время мнение относитель-

но пользы одного лекарства для изгнания камней из мочевого пузыря. Снадобье это рекомендовалось готовить по рецепту некой миссис Стефанс. Предприимчивая дама за баснословную сумму в пять тысяч фунтов стерлингов опубликовала секрет своего лекарства в одном из номеров «Лондонской газеты», которая и попала на глаза Блэку. Рецепт являл собой смесь из мелко толченых прокаленных улиток, яичной скорлупы, смешанных с отваром целебных трав на меду. Было особо оговорено, что главной составляющей служит «едкая щелочь» (известь). Весьма смущенный назначением столь сильнодействующего средства, Блэк решил выяснить природу этого вещества, а заодно и «мягкой щелочи» (магнезии), чтобы создать свое, менее раздражающее лекарство. Он обнаружил, что при прокаливании известняка (CaCO_3) и белой магнезии (MgCO_3) образуется какой-то газ. Тот же газ выделялся и при действии кислот на эти вещества. Выделившийся «воздух» Блэк снова связал, пропустив его через известковую воду. И в химии появилось новое название: «связанный воздух».

Век спустя последний великий пневмохимик Уильям Рамзай отметит:

«Только с открытием Блэка... обратили внимание на то, что газ может быть получен из твердого тела».*

(Курсив наш.— Е. Т.)

Через пятнадцать лет после экспериментов Блэка свойствами «связанного воздуха» заинтересовался любознательный пастор из английского города Лидса Джозеф Пристли. Он жил по соседству с пивоварней и каждый раз, заходя туда, изумлялся громадным чанам, в которых бродило сусло. Выделяющийся во время брожения газ, будучи тяжелее воздуха, шапкой-невидимкой висел над бродильными чанами, переливаясь через края. Веселый пивовар с невинным видом предлагал каждому любопытствующему понюхать готовящееся пиво. Газ сразу же ударял в нос и, раздражая горло, вызывал сильный кашель. Пристли, ставший очередной жертвой розыгрыша, весьма заинтересовался веществом, вызывающим такое сильное действие, и решил исследовать его свойства. Изучая растворимость этого газа в воде, Пристли все время пробовал ее на вкус. Надо ска-

*Рамсей У.—Оствальд В. Из истории химии. Спб., 1909, с. 125.

зять, что в то время собственный язык для химиков был едва ли не основным индикатором. К удовольствию исследователя газированная вода оказалась, по его словам, «чрезвычайно приятной, мало чем отличающейся от сельтерской»*.

Освежающий напиток пришелся по вкусу многим. За получение первой в мире «газировки» Пристли был удостоен золотой медали общества врачей, а британское морское ведомство пыталось (правда, безуспешно) использовать этот напиток как средство против цинги.

Продолжая опыты с этим газом, неутомимый исследователь сделал очень важное открытие. Речь идет о фотосинтезе. Пристли впервые доказал, что «связанный воздух» становится вновь пригодным для дыхания благодаря зеленым растениям. Он сажал мышь в стеклянную банку, и та вскоре погибала от недостатка свежего воздуха. Но если в ту же банку ученый ставил горшочек с цветами, растения не увядали. Более того, воздуху, «испорченному» дыханием мыши, растения возвращали его живительные свойства. И другая мышь, помещенная в банку вместе с цветами, чувствовала себя прекрасно. Так Дж. Пристли одним из первых прикоснулся к удивительной тайне зеленого листа.

Из своих опытов английский ученый сделал поистине гениальные выводы:

«Эти доказательства частичного восстановления воздуха растениями в процессе их жизнедеятельности делают весьма вероятным, что вред, который непрерывно наносится атмосфере дыханием животных и гниением большой массы растительных и животных веществ, по крайней мере... отчасти нейтрализуется ростом растений; и если учесть громадное развитие растений на Земле..., то можно считать, что этого противодействия вполне достаточно и что польза равна вреду»**.

Эти слова написаны около двухсот лет назад...

Вскоре после опытов Пристли известный шведский ученый

*Вода знаменитого в Европе минерального источника.

**Цит. по кн.: Джонс Ч. и Квинн Э. Углекислота. М.-Л., Пищепромиздат, 1940, с. 4.

Джозеф Блэк
(1728–1799)

Английский ученый. Открыл углекислый газ, установил существование скрытой теплоты плавления и парообразования, ввел понятие теплоемкости. Блэк считается одним из самых выдающихся химиков XVIII века. Он был избран почетным членом Петербургской академии наук.



Торберн Улаф Бергман издал весьма обстоятельный труд по истории и природе «связанного воздуха». Водные растворы этого газа имели кислую реакцию, что и побудило Бергмана назвать его «кислым воздухом». Бергман же первым сформулировал более или менее верные представления о составе атмосферного воздуха и совершенно справедливо утверждал, что «кислый воздух» содержится в нем в весьма незначительных количествах. В том, что плотность «кислого воздуха» больше плотности обычного, Бергман усмотрел причину обмороков, которые случались в местах обильного скопления этого вещества, скажем, в той же Собачьей пещере.

Состав «связанного воздуха» изучал и известный английский химик Смитсон Теннант. Он установил, что при сжигании равных количеств алмаза, графита и древесного угля образуется одинаковое количество «связанного воздуха».

И все же ни Блэк, ни Пристли, ни Бергман, ни Теннант не смогли определить количественный состав «связанного возду-

ха». Это сделал Антуан Лоран Лавуазье, выдающийся французский ученый XVIII в., который, собственно, и материализовал «дух», извлеченный из камня его предшественниками. Чтобы установить состав «связанного воздуха», Лавуазье сжег образец наичистейшего углерода — алмаз и проанализировал образовавшийся газ; результат был таков: 23,5–28,9 частей углерода и 71,1–76,5 частей кислорода. От этих цифр до привычной для нас формулы CO_2 — один шаг. Так стало известно, что «связанный воздух» — это двуокись углерода, CO_2 . Определив состав двуокиси углерода, Лавуазье открыл путь к изучению удивительных превращений CO_2 в процессе фотосинтеза.

Здесь мы попытаемся связать воедино наметившиеся сюжетные линии нашего рассказа. Возможно, некоторые читатели и заподозрят автора в нарочитом нагнетании ужасов для пушечного эффекта, но буйная поросль у входа в Собачью пещеру не домысел, а факт. Дело в том, что дно пещеры имеет уклон к выходу, и двуокись углерода вытекает наружу, образуя идеальную среду для растений. Почему CO_2 , столь вредная в больших концентрациях для людей и животных, весьма полезна (не то слово — совершенно необходима!) растениям? На этот вопрос выдающийся ученый нашего века академик В. И. Вернадский ответил так:

«Все живое вещество* в конечном итоге в значительной части своей массы происходит из угольной кислоты атмосферы или угольной кислоты, растворенной в воде, так как это единственный источник, из которого оно извлекает потребный ему углерод»**.

Да, углерод, без которого жизнь на нашей планете невозможна, словно эстафета передается через пищу от одного биологического вида к другому. Эстафета же начинается с фотосинтеза.

Не будем подробно говорить о фотосинтезе — это тема многих специальных статей и книг. Упомянем лишь, что в высших

*Этим термином В. И. Вернадский обозначает совокупность организмов, населяющих биосферу.

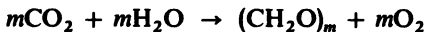
**Вернадский В. И. Избр. соч., т. I. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 194.



Джозеф Пристли
(1733–1804)

Английский химик и философ, почетный член Петербургской академии наук. Открыл кислород, изучал состав атмосферы. Пристли был чрезвычайно разносторонним человеком. Им опубликованы труды не только по естественным наукам, но и по грамматике, истории, ораторскому искусству.

растениях и водорослях этот процесс происходит по следующей схеме:



Таким образом, в результате фотосинтеза органическое вещество образуется из углекислого газа и воды одновременно с выделением кислорода.

А процессы жизнедеятельности нефотосинтезирующих организмов, равно как и процессы разложения любых живых тканей после гибели, можно выразить тем же уравнением, только написанным справа налево. Отсюда напрашивается вывод: *жизнь начинается и кончается двуокисью углерода*. Джозеф Пристли не столько открыл это обстоятельство, сколько наметил едва осознанную им самим связь между двумя такими полярными явлениями, как жизнь и смерть. Его формула «польза равняется вреду» содержала зародыш представлений о противоположной направленности обмена веществ при фотосинтезе, с одной стороны, и при дыхании, горении, гниении — с другой.



Антуан Лоран Лавуазье
(1743–1794)

Выдающийся французский ученый, один из основоположников современной химии. Лавуазье выяснил роль кислорода в процессах горения, обжигания металлов и дыхания, чем опроверг теорию флогистона. Установил, что воздух является смесью газов. Он экспериментально доказал закон сохранения вещества.

Все же как верно двуокись углерода изначально была названа «связанным воздухом»! В связанном состоянии этого вещества на нашей планете в десять тысяч раз больше, чем в газообразном. Те 0,03 объемных процента ($2,6 \cdot 10^{12}$ т) CO_2 , содержащиеся в атмосфере, — равновесный остаток, постоянство которого поддерживается тремя основными регуляторами: мировым океаном, вулканической деятельностью и живым веществом. Благодаря этому статьи прихода и расхода двуокиси углерода сравнительно недавно были более или менее равны. Сейчас о таком балансе мы говорим в прошедшем времени: концентрация CO_2 в атмосфере Земли по сравнению с прошлым веком возросла на 11%. Одиннадцать процентов от 0,03, казалось бы, немного, но температура приземных слоев атмосферы за то же самое время повысилась на 1 градус. Много это или мало, судить пока еще рано, но эту аномалию связывают с CO_2 и с *парниковым эффектом*. Напомним: суть этого явления заключается в том, что двуокись углерода, подобно стеклу в теплице, прозрачна для коротковолновой солнечной радиации, но задерживает тепловое излучение с земной поверхности. Это и ведет к повышению температуры приземных слоев воздуха.

У ближайшей нашей космической соседки Венеры парни-

ковый эффект выражен особенно сильно, так как ее атмосфера более чем на 90% состоит из CO_2 . Полагают, что именно из-за этого температура воздуха там достигает 500°C .

Справедливости ради следует отметить, что в земной атмосфере на величину парникового эффекта влияют также водяной пар и озон. Однако главная роль принадлежит все же двуокиси углерода, так как ее содержание в воздухе неуклонно возрастает по совершенно известной причине: в результате сжигания топлива в атмосферу ежегодно поступает до 10^{10} тонн CO_2 . По самым скромным подсчетам, к 2000 году количество двуокиси углерода в атмосфере может возрасти на 30%, и тогда температура воздуха повысится еще на градус. В обозримом будущем квота CO_2 , поступающая в атмосферу в результате деятельности человека, может стать в десять раз больше нынешней, и тогда средняя температура воздуха поднимется уже на 12 градусов. Такое глобальное изменение теплового режима может привести к таянию материковых и океанических льдов. Для полного их растопления понадобится менее тысячи лет. Как тогда предотвратить «всемирный потоп»?

Пессимисты рисуют такую «послепотопную» картину. Содержание двуокиси углерода в атмосфере будет постепенно понижаться. Большую часть CO_2 поглотит разлившийся океан, меньшую — усвоят зеленые растения в процессе фотосинтеза. Это вызовет соответствующее уменьшение парникового эффекта, и температура воздуха снова начнет понижаться. В конце концов может наступить новая эпоха оледенения...

Конечно, нельзя ручаться за абсолютную достоверность таких прогнозов, тем не менее помнить о необходимости сохранения теплового баланса и баланса двуокиси углерода в атмосфере следует. Между прочим, известный шведский химик Сванте Аррениус в свое время полагал, что доисторическое похолодание, вызвавшее образование ледников, было следствием обеднения атмосферы двуокисью углерода. В ранние геологические периоды развития Земли теплый и влажный климат, а также относительно высокое содержание CO_2 в атмосфере способствовали бурному развитию зеленых растений. Предполагается, что в то время образование живой органической массы шло столь бурными темпами, что опережало ее распад.

Это было торжество народившейся земной жизни. Затем количество CO_2 стало постепенно уменьшаться, парниковый эффект также уменьшился и наступило оледенение. Это только гипотеза. Зато совершенно достоверно, что деятельность зеленых растений тех далеких времен была действительно бурной, доказательством чего служит хотя бы каменный уголь. Известный индийский ученый Д. Ч. Бозе остроумно заметил по этому поводу:

«Когда мы стоим у камина, мы греемся на солнышке каменноугольной эпохи»*.

Сегодня мы «угольные консервы» (да и нефтяные тоже) снова переводим в двуокись углерода. Но вот что интересно: CO_2 можно успешно применять в качестве воздушного удобрения. Первые опыты по обогащению воздуха двуокисью углерода были поставлены еще швейцарским ученым Н. Соссюром. Он установил, что при избыточном содержании CO_2 в воздухе растения развиваются быстрее, но этот избыток должен быть не слишком большим. Применение двуокиси углерода в парниках и теплицах неизменно давало положительный эффект. Оказывается, днем растения способны перерабатывать в полтора раза больше CO_2 , чем обычно его содержится в воздухе. При избытке двуокиси углерода улучшаются условия корневого питания растений. Как выяснилось, CO_2 усваивается не только листьями, но и корнями. К сожалению, дальше экспериментов пока дело не продвинулось. Применять в больших количествах двуокись углерода в полевых условиях и дорого, и сложно. Однако интенсифицировать фотосинтез все же стоит. В этом случае прирост сельскохозяйственной продукции составил бы до 10%. А это в мировом масштабе прибавка весьма ощутимая. Вот почему в последнее время высказывается идея использовать глобальный избыток двуокиси углерода, выделяющейся при сжигании топлива, для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Не будем здесь касаться хрестоматийных примеров использования двуокиси углерода, в том числе и твердой («сухой лед»), в технике, промышленности, быту. Затронем лишь жиз-

*Цит. по кн.: Овчинников Н. Н., Шиханова Н. М. Фотосинтез. М., Просвещение, 1972, с. 8.

ненно важные аспекты. Если в больших дозах CO_2 – поистине «злодейский» газ, то в малых – наоборот. Без двуокиси углерода не могут существовать не только растения, но и высшие животные. Это вещество играет чрезвычайно важную роль в гуморальной (от латинского *humor* – жидкость) регуляции физиологических процессов – во взаимодействии между различными системами организма, осуществляемом через жидкие внутренние среды – кровь, лимфу и т. д. В жидкостях тела растворены различные соли, CO_2 – тоже. Так образуется стабильная система растворенных веществ, в которой двуокись углерода играет роль регулятора и поддерживает постоянство рН во внутренней среде организма.

Двуокись углерода служит возбудителем и регулятором дыхания у высших животных и человека. Эту замечательную особенность сейчас детально изучают физиологи и врачи. Медиками давно было замечено, что вдыхание газовых смесей с повышенным содержанием двуокиси углерода не только оказывает наркотическое действие, но и нарушает терморегуляцию и вызывает гипотермию – охлаждение организма. Известный русский врач П. И. Бахметьев еще в 1901 г. предложил использовать эту особенность CO_2 для замедления процессов жизнедеятельности. В своей статье «Рецепт дожить до XXI века» он подробно изложил метод погружения в состояние анабиоза с помощью двуокиси углерода. Кто знает, не будут ли будущие астронавты использовать CO_2 для замедления жизненных процессов при длительных космических полетах?

Есть предположение, что секрет живучести и выносливости йогов заключается в их умении регулировать содержание двуокиси углерода в организме. А что, если они могут развивать в себе способность, подобно растениям, прямо из воздуха усваивать CO_2 , активизирующую их жизнедеятельность в критических условиях?

Так или иначе, но очевидно, что мы знаем далеко не все о роли двуокиси углерода в нашей жизни.

СКИТАЛЕЦ ВСЕЛЕННОЙ

Даже сам хитроумный Гермес, который, как утверждает легенда, мог наглухо запечатывать любые сосуды (отсюда и «герметичный»), вряд ли сумел бы надежно закупорить склянку с водородом. Этот газ — самый легкий из всех веществ. Он улетучивается, особенно при нагревании, через стенки почти всех сосудов, которыми мы пользуемся в обиходе. Водород не могут удержать даже силы земного притяжения, и он, как мы уже говорили, беспрепятственно покидает пределы нашей планеты, диссипирует. Именно этим и объясняется столь малое — всего лишь 0,00005% по объему — содержание этого газа в нашей атмосфере.

Водород не только формально, но и фактически элемент № 1. Это самое распространенное вещество нашей Вселенной — основной ее «стройматериал». Мир, в котором мы обитаем, — водородный! В самом деле, этот элемент составляет около половины массы Солнца и большинства звезд, присутствует в атмосфере ряда планет, в кометах, туманностях и межзвездном газе. Такие планеты-гиганты, как Сатурн и Юпитер, в которых практически сосредоточена основная масса планетного вещества Солнечной системы, почти целиком состоят из водорода. Если вести счет на атомы, то оказывается, что живые существа на две трети состоят из водорода, на четверть — из кислорода и лишь на десятую часть — из углерода.

У атома водорода все необычно, все аномально, все в единственном числе: и протон, и электрон. Ни один из атомов любого другого элемента не может при обычных условиях терять все электроны. А вот атом водорода может. Лишившись своего единственного электрона, он превращается в положительно заряженный протон — элементарную частицу, которая наряду с нейтроном является составной частью ядер атомов других элементов. И, конечно же, нет ничего удивительного в том, что необычные свойства водорода привлекали (и привлекают) внимание ученых.

Первым, кто смог «удержать» водород, был, пожалуй, Роберт Бойль. В 1660 г. он осуществил тривиальный на наш взгляд, но гениальный для своего времени эксперимент: соб-

рал газ в сосуд, опрокинутый над жидкостью. В склянку с разбавленной серной кислотой Бойль насыпал железных гвоздей и, перевернув ее, поместил в сосуд, также наполненный серной кислотой. Газ, скапливавшийся под донышком склянки, и был водород. Правда, Бойль об этом еще не знал.

Не знал этого и Ломоносов, который после своих многочисленных опытов оставил такую запись:

«При растворении какого-либо неблагородного металла, особенно железа, в кислотных спиртах из отверстия склянки вырывается горючий пар, который представляет собой не что иное, как флогистон»*.

Ах, этот пресловутый флогистон — плод измышлений немецкого ученого Г. Шталья, который с помощью этой псевдосубстанции пытался объяснить природу горения. Как часто погоня за мифической жар-птицей — флогистоном уводила химиков с пути истинного. Так или иначе, но, выражаясь современным языком, в качестве рабочей гипотезы флогистон во всех отношениях устраивал ученых XVIII века. И поэтому тогда выделяющийся в различных реакциях водород часто принимали именно за флогистон. Не избежал этой ошибки и знаменитый Генри Кавендиш. Его называли самым богатым среди ученых и самым ученым среди богачей. Кавендиш получил большое наследство, но деньги его интересовали мало. Тратил он их только на книги, лабораторные приборы и химикалии. Он вел аскетический образ жизни. Его служение науке было самозабвенным и бескорыстным. В конюшне, переоборудованной под лабораторию, этот странный нелюдим сделал свои выдающиеся открытия: определил состав воды и воздуха.

Первая из опубликованных работ Кавендиша появилась в 1766 г. под заглавием «Опыты с искусственным воздухом». Она была посвящена проблеме пневматической химии, а опыты, по-видимому, выполнялись под влиянием знаменитых блэковских экспериментов со *«связанным воздухом»*. Кавендиш, в свою очередь, исследовал, по его словам, «всякий род воздуха, который содержится в веществах в неупругом состоя-

*Ломоносов М. В. Полн. собр. соч., т. 1. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1950, с. 399.



Генри Кавендиш
(1731–1810)

Прославленный английский физик и химик. Изучал свойства газов. Выделил водород и двуокись углерода, определил состав воздуха и воды. Кавендиш опытным путем подтвердил закон всемирного тяготения, вычислил среднюю плотность Земли. Он занимался также исследованием электричества.

нии и может быть из них выделен искусственно»*. Под *неупругим* ученый понимал связанное состояние. Кавендиша весьма заинтересовал один из видов «искусственного» воздуха, который легко получался при действии соляной и серной кислот на различные металлы, такие, как цинк, железо, олово. Этот «воздух» он назвал «горючим». Английский ученый, как и его русский коллега, обнаружив чрезвычайную легкость «горючего воздуха», был глубоко убежден, что выделил флогистон. Казалось, что мнение сторонников флогистона о его «отрицательной массе» подтвердилось. Однако, тщательно исследуя свойства полученного вещества, Кавендиш обнаружил, что газ этот все же обладает массой и что он в 11 раз легче воздуха. Правда, ученый несколько ошибся, так как водород легче воздуха в 14,28 раза.

*Цит. по кн.: Рамсей У.–Оствальд В. Из истории химии. Спб., 1909, с. 82.

Наличие массы у «горючего воздуха» (водорода) несколько не смутило Кавендиша, решившего, что это не чистый флогистон, а его соединение с водой. Это вполне соответствовало убеждениям флогистиков, что флогистон не может существовать в свободном состоянии и при выделении должен соединяться с воздухом или другими веществами.

И пусть Кавендиш еще верил в существование флогистона, а «горючий воздух» был получен задолго до него, именно он первый сделал четкое разграничение между обычным воздухом и «горючим воздухом», а также, тщательно изучив свойства этого газа, по существу, дал ему путевку в жизнь. Уже после того как был открыт кислород, Кавендиш, снова занявшись изучением «горючего воздуха», в начале 80-х годов XVIII в. опубликовал свою работу «Эксперименты с воздухом». Причиной этих исследований на сей раз послужило то обстоятельство, что при «флогистировании» (т.е. при отнятии у воздуха кислорода) объем воздуха уменьшался. Кавендиш понимал, что это происходит за счет исчезновения «дефлогистированного воздуха», т.е. кислорода, но совершенно не мог представить, куда он девается.

Ученый провел множество опытов по удалению «дефлогистированного воздуха», для чего сжигал «горючий воздух» в закрытом объеме. При этом каждый раз на внутренних стенках сосуда появлялись капельки росы. Собственно, образование влаги при сгорании «горючего воздуха» наблюдал до Кавендиша и Пристли, но он не придал этому особого значения. Однако Кавендиш с его педантизмом во всем, что касалось научного эксперимента, конечно же, не мог пройти мимо этого факта. Повторив опыт с большим количеством «горючего воздуха» и обычного воздуха, он получил 8,7 г жидкости (примерно с наперсток), не имевшей ни вкуса, ни запаха. Это была самая обыкновенная вода. А раз так, то «дефлогистированный воздух» (кислород) при «флогистировании» превращается в воду! Все же поверить в это до конца Кавендиш не решался, но повторил опыт непосредственно с кислородом, взорвав смесь его с «горючим воздухом» при помощи электрической искры. Газы, смешанные в соотношении два к одному (вспомним $H_2O!$), практически полностью превратились в воду. Комментарии, как говорится, излишни.

Дальнейшее изучение «горючего воздуха» было продолжено во Франции в связи с бурным развитием воздухоплавания. В 1783 г., спустя всего лишь три месяца после запуска братьями Монгольфье первого воздушного шара, наполненного дымом, парижский ученый Жак Шарль (тот самый Шарль, автор второго газового закона) запустил шар, наполненный «горючим воздухом». Этот газ он получил простым способом, действуя на железные опилки серной кислотой.

Французская Академия наук, весьма увлеченная перспективой применения «горючего воздуха» для воздухоплавания, поручила Лавуазье разработать эффективный способ его получения в больших количествах. В процессе поисков, по существу, и было завершено открытие элемента № 1. В новой химической номенклатуре, разработанной группой французских ученых при участии Лавуазье в 1787 г., для «горючего воздуха» было предложено название *водород* (*hydrogenium* – от греческого *hydor* – вода и *gennaio* – рождаю). В этом документе водород фигурировал уже как элемент...

Чрезвычайная легкость водорода не давала покоя ученым и в начале XIX века явилась, пожалуй, причиной возрождения идеи древнегреческих философов о первовеществе. В 1815 и 1816 гг. в научном журнале «Летописи философии» автор двух анонимных статей выдвинул сенсационную гипотезу, что все химические элементы образовались из... водорода. Как выяснилось, автором этого смелого утверждения был лондонский врач и химик Уильям Праут. Свои предположения он основывал на таблице относительных масс некоторых веществ и химических элементов, которую составил его знаменитый соотечественник Джон Дальтон. В этой своеобразной «табели о рангах» самым первым и самым легким значился водород, атомная масса которого была принята за единицу. Массы других веществ и элементов, вычисленные недостаточно точно, представлялись в виде дробных чисел. Видимо, по аналогии с законом кратных отношений, сформулированным в 1803 г. тем же Дальтоном, Праут предложил выражать атомные массы элементов целыми числами, которые тогда стали бы кратными атомной массе водорода. Праут считал, что таким образом может подтвердиться его предположение об образовании всех элементов путем «конденсации» из самого легкого – водорода.

Эта идея с восторгом была принята одними учеными и осмеяна другими. Увы, при попытках более точно определить атомные массы элементов целые числа не получались. Гипотеза Праута не нашла формального подтверждения и была забыта на долгие годы.

После того как в 1869 г. русский ученый Д. И. Менделеев открыл периодический закон, вновь возникла дискуссия о первовеществе. На этот раз начало ей положил соотечественник и тезка Праута известный физик Уильям Крукс. В 1888 г. в своей книге «Происхождение элементов» он выдвинул предположение, что все химические элементы произошли из первичной материи путем ее постепенного уплотнения. Эту праматерию Крукс назвал *протилом* (от греческого *protos* — первый). По мнению ученого, дробные атомные массы элементов объяснялись ничтожно малой массой самого протила. Против гипотезы Крукса выступил Менделеев, которого тоже занимал вопрос о первовеществе. В качестве такового он предложил «мировой эфир» с элементарной массой 0,000001.

Гипотеза Праута неожиданно получила новое звучание в трудах молодого датского физика Нильса Бора. Он не только теоретически развил представления о строении атома, но и выдвинул идею о том, что «понимание физических и химических свойств каждого элемента должно быть неразрывно связано с целым числом (вот она, гениальная догадка Праута! — Е. Т.), известным теперь как атомный номер и равным заряду ядра...»*.

И когда гипотеза Праута как будто бы восторжествовала, а идея синтеза элементов (и в первую очередь синтеза гелия из водорода), казалось, должна была вот-вот подтвердиться, оставалась неувязка: атомные массы были все же дробными. В 1925 г. английский физик Ф. Астон при помощи сконструированного им масс-спектрографа с большой точностью измерил атомные массы различных элементов, в том числе водорода и гелия. По здравому смыслу атом гелия должен был быть ровно в четыре раза тяжелее атома водорода, по результатам же экспериментов получалось, что только в 3,97 раза. Разница (ее назвали *дефектом массы*) была совсем невелика — всего

*Цит. по кн.: Нильс Бор. Жизнь и творчество. М., Наука, 1967, с. 27.

лишь 0,0075 массы атома гелия,—но пренебрегать ею было нельзя: на точность своих приборов физики могли положиться. Напрашивалась мысль о том, что при «сборке» атома (точнее, ядра) гелия часть вещества терялась в виде излучения. Эта мысль подтвердилась. И действительно, количество энергии E , выделившейся при таком излучении, можно измерить, а зная его, дефект массы Δm было легко подсчитать по знаменитой формуле Эйнштейна:

$$E = \Delta mc^2$$

где c —скорость света в вакууме. Результат расчета совпал с результатами опыта.

В 30-е годы выяснилось, что синтез элементов возможен только в условиях сверхвысоких температур и давлений, существующих в недрах звезд, таких, например, как наше Солнце. Однако ядра элементов образуются не простым слиянием протонов, а в результате цепи последовательных превращений, сопровождающихся выделением колоссальных количеств энергии. Излучение, возникающее при этом, мы и называем *космическим*, или, попросту, звездным светом, а превращения элементов — *термоядерными реакциями*.

Так, по образному выражению итальянского химика М. Джуа, физика обновила химию и отняла у нее атом. Добавим: и в первую очередь атом водорода. Однако, завладев водородом и определив его массу более точно, физики не смогли сразу ответить на вопрос: почему атомная масса водорода, измеренная Астоном с помощью масс-спектрографа, отличается от массы, измеренной химическим путем, на 0,0002.

Такая неувязка на первый взгляд вполне могла сойти за естественную погрешность эксперимента. Но только на первый взгляд. При более внимательном рассмотрении, поиграв, как говорится, числами, ее можно было представить как соотношение 2 : 10 000 или 1 : 5000. В этих числах не стоило, конечно, искать какой-то магический смысл, но закономерности — вполне. Одна из них — существование, скажем, неизвестного изотопа водорода с атомной массой, равной двум. Тогда все стало бы на место: одна часть такого изотопа приходилась бы на пять тысяч частей обычного водорода. Для подтверждения этого предположения профессор Колумбийского университета Гарольд Юри и его ученики Ф. Брикведде и Г. Мэрфи проделали (в

1931 г.) следующий эксперимент. Испарив жидкий водород, они подвергли остаток спектральному анализу; в нем, по их мнению, должна была содержаться повышенная концентрация предполагаемого изотопа. Действительно, на спектрограмме наряду с хорошо знакомыми линиями обычного водорода исследователи обнаружили очень слабые полосы, соответствовавшие расчетному спектру водорода с атомной массой два.

Вскоре Г. Юри и Э. Осборн установили, что при электролизе воды обычный водород выделяется почти в шесть раз быстрее, чем его более тяжелый изотоп. В 1933 г. американские исследователи Г. Льюис и Р. Макдональд путем электролиза получили 1 см^3 драгоценной в полном смысле этого слова воды, содержащей только тяжелый изотоп водорода. Плотность ее была на 10% больше, чем у обычной воды. Открытие «тяжелой» воды (а ее так и называли — *тяжелой*), окончательно подтвердило наличие у элемента № 1 другого изотопа — *дейтерия*, что по-гречески означает «второй» (обычный водород — *протий*, от *протос* — *первый*). По аналогии с протоном ядро дейтерия было названо *дейтроном* (*дейтоном*). Дейтерий получил символ D, или ^2H . Остается добавить, что за открытие дейтерия Г. Юри в 1934 г. была присуждена Нобелевская премия.

Открытие тяжелого изотопа водорода сыграло исключительную роль в развитии ядерной техники. Достаточно сказать, что с применением дейтерия связана проблема управляемых термоядерных реакций.

По существу, природный водород — это смесь протия и дейтерия, в которой один атом тяжелого изотопа приходится на 6800 атомов легкого изотопа. В обычной воде имеются молекулы H_2O , D_2O , DHO ; две последние и есть «тяжелая вода».

Посмотрим, как распределен дейтерий в природной воде и атмосферных осадках. Соотношение D : H составляет: в водах рек и озер 1 : 6800, в морской воде — 1 : 5600, в арктическом льде — 1 : 5500, в снеге — 1 : 9000. Много это или мало?

Разговор о дейтерии — это прежде всего разговор о тяжелой воде, но не только о ее роли в ядерной технике. Еще один из первых исследователей тяжелой воды, американец Г. Льюис, обнаружил, что она замедляет жизненные процессы. Так и повелось, что тяжелую воду сравнивают со сказочной мертвой водой, а воду, обедненную дейтерием, — с живой.

Издавна считалось, что снеговая вода обладает живительными свойствами. Достаточно вспомнить, что землепашцы всегда старались задерживать снег на полях. «Много снега — много хлеба», — такова народная примета. Из приведенных выше соотношений видно, что в снеговой воде дейтерия содержится на 25% меньше, чем в обычной. Наличие тяжелого изотопа водорода вредно для жизни. И не потому ли талая, снеговая вода — это действительно живая вода, целительные возможности которой мы, к сожалению, не используем по-настоящему?

У водорода имеется еще и третий изотоп, который был так и назван — *третий* (обозначается T, или ^3H). Его атомная масса равна трем, и он образует *сверхтяжелую воду* — молекулы НТО, T₂O, DTO. Если ядро атома дейтерия состоит из протона и нейтрона, то ядро трития — *тритон* — содержит протон и два нейтрона. Этот изотоп уже радиоактивен, период его полураспада равен 12,26 года. Тритий образуется в результате различных реакций, протекающих при взаимодействии космических частиц высоких энергий. В природе он встречается чрезвычайно редко — один атом на 10^{18} атомов протия. В воде всей нашей планеты содержится не более 20(!) кг трития.

Очень трудно проследить за ролью элемента № 1 в формировании современной атмосферы, ибо, как мы знаем, содержание его в воздухе ничтожно. Но когда-то этот газ в изобилии окружал молодую Землю. Прямых доказательств этому нет, кроме, пожалуй, того, что наша планета, как обычное космическое тело, при рождении должна была получить свою долю водорода — основного стройматериала Вселенной. Она его и получила, но за миллиарды лет своего существования удержать в свободном виде не сумела. Зато в связанном состоянии элемент № 1 на нашей планете весьма и весьма распространен, и вода тому примером. Впрочем, не только вода. Прекрасная информация к размышлению — состав вулканических газов, содержание водорода в которых достигает 3%. В газах, выделяющихся при извержении Везувия, например, обнаружено до 22,3% H₂, в газах же вулкана Мон-Пеле на острове Мартиника — до 54% H₂.

Как предполагают, причиной образования нашей атмосферы явился первичный радиогенный разогрев Земли, в результате которого произошла дегазация — выделение летучих

веществ на поверхность. По современным воззрениям, первичная атмосфера была близка по составу к метеоритным и вулканическим газам. Трудно, конечно, восстановить первоначальный состав атмосферы, но мнения большинства ученых сходятся в том, что первичная атмосфера нашей планеты была восстановительной и содержала в основном водяной пар, двуокись углерода, метан, аммиак и водород. Но каким образом элемент № 1 оказался в недрах Земли?

Еще В. И. Вернадский высказал предположение, что именно в глубинах нашей планеты имеются благоприятные условия для существования водорода в виде гидридов (т. е. его соединений с другими элементами), и особенно гидридов металлов.

Недавно советский ученый В. Н. Ларин, следуя идеям Вернадского, выдвинул интересную гипотезу «изначально гидридной Земли». Суть ее в том, что наша планета образовалась из холодного пылегазового облака, в котором преобладали водород и металлы. При коагуляции (слипанию) частиц этого облака росло давление, и в недрах новорожденной Земли образовались гидриды. Затем наша планета стала разогреваться за счет энергии распада радиоактивных элементов. Повышение температуры привело к разложению гидридов и образованию протонного газа. По предположению Ларина, именно гидриды металлов должны заключаться в земном ядре, которое, в свою очередь, окружено оболочкой из металлов, насыщенных протонным газом. Отсюда и происходит постоянная «утечка» элемента № 1. По пути водород соединяется с различными элементами; при взаимодействии с кислородом образуется вода, которая в конце концов выходит на поверхность. Это одна из возможных схем образования воды, тем более что сейчас убедительно доказано происхождение нашей гидросферы из подземных вулканических вод.

Если гипотеза Ларина верна, то, может быть, гидриды в глубинах Земли хранят именно тот догеологический, реликтовый водород, из которого и была «построена» Вселенная?

Вырываясь из земного плена, свободный водород устремляется в космические просторы породившей его Вселенной. А ничтожная его часть, та, что осталась в воздухе,—это лишь один из продуктов множества процессов, происходящих в природе...

ГАЗ-ПАРАДОКС

Всем известно: азот инертен. Часто мы сетуем на это его свойство, за которое приходится расплачиваться дорогой ценой, затрачивая много сил и средств на превращение элемента № 7 в жизненно необходимые соединения.

Но, с другой стороны, не будь азот так инертен, он бы соединялся в атмосфере с кислородом, и образовывались бы окислы и кислоты, совершенно не пригодные для жизни, по крайней мере для тех ее форм, в каких она существует на Земле. Вместе с тем именно в окислы и азотную кислоту мы стремимся превратить возможно бóльшую часть атмосферного азота. Это один из парадоксов элемента № 7.

Его парадоксальность во всем, и прежде всего в свойствах. Она отразилась даже в названии этого элемента. Азот жизненно важен, но само это слово значит *безжизненный*, ибо по-гречески *a* означает отрицание, *зоэ* – жизнь. Именно так трактовал слово «азот» Лавуазье, предложивший это название для той составной части воздуха, которая не поддерживает горение и дыхание. Впрочем, это слово придумал не он. Оно было в лексиконе еще средневековых алхимиков и означало некое смутное философское «начало и конец всех начал», своего рода каббалистическое заклинание. Знатоки утверждают, что ключом к расшифровке слова «азот» служит заключительная фраза одной из библейских книг – Апокалипсиса: «Я – альфа и омега, начало и конец, первый и последний». Вот так и образовали это слово из первых и последних букв трех алфавитов, наиболее почитаемых в средние века: латинского, греческого и древнееврейского (а, альфа, алеф – всем этим буквам соответствует звук «а»; буквам зет, омега, тов – звуки «з», «о», «т»). Так появилось слово *азот*, первоначально не имевшее никакого отношения к элементу № 7.

Современник и соотечественник Лавуазье Ж. Шапталь, не мудрствуя лукаво, предложил назвать элемент № 7 *нитрогениум* – рождающий селитру (*Nitrogenium* – от латинского *nitrum* – селитра и греческого *γενναο* – рождаю). Селитры – азотнокислые соли, вещества, известные с древнейших времен.

Термин «азот» укоренился только в русском и французском языках. По-английски элемент № 7 – Nitrogen, по-немец-

Даниель Резерфорд
(1749–1819)

Изучал медицину под руководством Дж. Блэка. В своей диссертации, представленной на соискание ученой степени доктора медицины, впервые описал азот. Сначала работал врачом, а затем профессором ботаники. Резерфорд был членом и президентом ряда медицинских и биологических научных обществ.



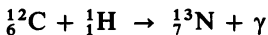
ки – Stickstoff («душающее вещество»). Химический же символ N – дань шапталевскому азоту.

Азот был открыт в 1772 г. Генри Кавендишем, когда ему удалось выделить особого рода «*мефитический воздух*»; названный так по-латыни, что значит «испорченный» или даже «зловонный». Этот «воздух», по мнению ученого, был флогистированный, т.е. мог образоваться при отделении той части воздуха, которую мы сегодня называем кислородом. Короче говоря, это и был азот. Кавендиш получил его чрезвычайно простым способом, пропустив над раскаленным углем обычный воздух. Образовавшуюся при этом двуокись углерода он связал щелочью. Но Кавендиш с публикациями не спешил. Официальное открытие азота приписывают ученику Дж. Блэка, Даниелю Резерфорду, который в том же 1772 г. опубликовал диссертацию «О так называемом фиксируемом и мефитическом воздухе». Блэк, прославившийся опытами со «связанным воздухом» (двуокисью углерода), обнаружил, что после его

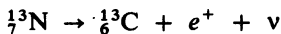
фиксирования (связывания щелочью) остается еще какой-то «нефиксируемый воздух». Исследование этого остатка Блэк и предложил Резерфорду в качестве диссертационной работы.

Примерно в то же время азот был получен шведом К. Шееле и англичанином Дж. Пристли. Однако они имели весьма смутное представление о природе открытого ими вещества. Эти ученые были убежденными сторонниками теории флогистона и связывали с ним свойства «мефитического воздуха». Только Лавуазье, ведя наступление на флогистон, убедился сам и убедил других, что газ, который он назвал «безжизненным», — простое вещество, как и кислород...

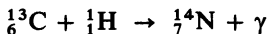
Атомы земных химических элементов рождены в недрах звезд. И атомы азота — тоже. Как предполагают, они возникают в сложнейшей цепи термоядерных процессов. Образование химических элементов — многостадийная реакция, идущая двумя путями. Один из них, получивший название *углеродно-азотного цикла*, имеет самое непосредственное отношение к элементу № 7. Этот цикл начинается тогда, когда в звездном веществе помимо ядер водорода — протонов есть и углерод. Ядро углерода-12, присоединив еще один протон, превращается в ядро нестабильного изотопа азота-13:



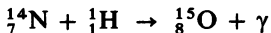
Но, испустив позитрон, азот снова превращается в углерод, в его более тяжелый изотоп ${}^{13}\text{C}$:



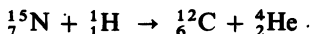
Такое ядро, приняв лишний протон, превращается в ядро самого распространенного в земной атмосфере изотопа — ${}^{14}\text{N}$:



Но лишь часть азота-14 отправляется в путешествие по Вселенной. Под действием протонов ${}^{14}\text{N}$ превращается в кислород-15, а тот, в свою очередь, испустив позитрон, переходит в другой «земной» изотоп азота — ${}^{15}\text{N}$:



«Земной» азот-15 стабилен, но в недрах звезд этот изотоп подвержен распаду:



В этой цепи превращений азот—один из промежуточных продуктов. Известный английский астрофизик Р. Дж. Тейлер пишет:

«Изотоп, который нелегко построить,—это ${}^{14}\text{N}$. В углеродно-азотном цикле образуется азот, и хотя впоследствии он снова превращается в углерод, все же, если процесс протекает стационарно, то азота в веществе оказывается больше, чем углерода. Это, по-видимому, основной источник ${}^{14}\text{N}$...»*

В углеродно-азотном цикле прослеживаются любопытные закономерности. Углерод-12 играет в нем роль своеобразного катализатора, так как в конечном счете количество ядер ${}^{12}\text{C}$ не изменяется. Азот же, появляясь в начале процесса, исчезает в конце. И если углерод в этом цикле—катализатор, то азот явно аутокатализатор, т.е. продукт реакции, катализирующий ее дальнейшие промежуточные стадии.

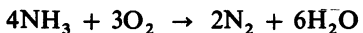
Мы не случайно заострили внимание на каталитических свойствах элемента № 7. Не сохранил ли эту особенность «звездный» азот и в живом веществе? Судите сами: катализаторы жизненных процессов—ферменты, а также большинство гормонов и витаминов—содержат азот. Жизнь многим обязана азоту, но и свободный азот, образующий атмосферу нашей планеты, обязан жизни.

Поразительно несоответствие между содержанием элемента № 7 в литосфере (0,01%) и в атмосфере (75,6% по массе, или 78,09% по объему). В общем-то мы обитаем в атмосфере азота, умеренно разбавленного кислородом. Между тем ни на других планетах Солнечной системы, ни в составе комет или каких-либо других холодных космических тел свободный азот не обнаружен. Есть лишь его радикалы и соединения—CN, NH, NH₂, NH₃. Правда, в атмосфере Венеры зарегистрировано около 2% азота, но этот факт еще требует подтверждения. Полагают, что

*Тейлер Р. Дж. Происхождение химических элементов. М., Мир, 1975, с. 199–200.

и в первичной атмосфере Земли свободного азота не было. Откуда же тогда он появился?

По-видимому, как мы уже говорили, атмосфера нашей планеты состояла вначале из летучих веществ, образовавшихся в земных недрах: H_2 , H_2O , CO_2 , CH_4 , NH_3 . Свободный азот если и выходил наружу как продукт вулканической деятельности, то сразу же превращался в аммиак. Условия для этого были самые подходящие: избыток водорода и повышенная температура (поверхность Земли еще не остыла). Но вот возникла жизнь... Владимир Иванович Вернадский утверждал, что «земная газовая оболочка, наш воздух, есть создание жизни»*. (Курсив наш. — Е. Т.) Именно жизнь «освоила» удивительный процесс фотосинтеза, один из конечных продуктов которого — свободный кислород — стал активно соединяться с аммиаком, высвобождая молекулярный азот:



Кислород и азот в обычных условиях между собой не реагируют, поэтому состав воздуха и сохраняет status quo. В наше время основной источник поступления элемента № 7 в атмосферу — вулканические газы. Известны места, где из-под земли выходят струи чистого азота, иногда лишь с незначительными примесями.

Природный азот — это смесь двух стабильных изотопов ^{14}N и ^{15}N , соотношение которых позволяет судить о некоторых процессах, происходящих на Земле. В приземном слое воздуха соотношение $^{14}\text{N} : ^{15}\text{N}$ равно 273 (т.е. 99,635 : 0,365). По мере удаления от земной поверхности происходит гравитационное разделение этих изотопов. Уже на высоте 60 км отношение $^{14}\text{N} : ^{15}\text{N}$ увеличивается до 282,6. Соотношение изотопов азота позволяет судить о геологическом возрасте минералов, содержащих этот элемент. Любопытно, что в образцах лунного грунта, доставленных на Землю, соотношение изотопов элемента № 7 близко к соотношению их в обычных минералах. Не

*Вернадский В. И. Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 52.

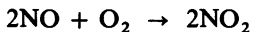
подтверждает ли этот факт гипотезу о земном происхождении Луны?

Под влиянием космического излучения в верхних слоях атмосферы ^{14}N превращается в радиоактивные изотопы ^{14}C и ^3H . Разрушив запасы активного азота, находившегося в первичной атмосфере, природа поставила себя перед проблемой: как связать азот, столь необходимый живым организмам, если он весьма инертен? Причина неактивности элемента № 7 – тройная химическая связь между атомами в его молекуле: $\text{N}\equiv\text{N}$. Обычно связи такой кратности мало устойчивы. Вспомним хотя бы классический пример ацетилена: $\text{HC}\equiv\text{CH}$. В этой молекуле тройная связь очень непрочна, чем и объясняется химическая «сверхактивность» ацетилена. А вот у азота здесь явная аномалия: тройная связь в молекуле N_2 очень прочна. Нужны немалые усилия, чтобы разрушить эту связь. К примеру, для промышленного синтеза аммиака из азота и водорода требуется не только давление более 20 МПа и температура свыше 500°C , но и обязательное присутствие катализаторов. Для того чтобы связать азот, природа «наладила» непрерывное производство азотных соединений «методом гроз».

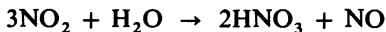
Статистика утверждает, что в атмосфере нашей планеты ежегодно вспыхивает три с лишним миллиарда молний. Мощности отдельных разрядов достигает 200 млн. кВт, а воздух при этом разогревается (локально, разумеется) до двадцати тысяч градусов. При такой чудовищной температуре молекулы кислорода и азота распадаются на атомы, которые легко реагируют друг с другом, образуя непрочную окись:



Благодаря быстрому охлаждению (разряд молнии длится десятитысячную долю секунды) окись азота не распадается и беспрепятственно окисляется кислородом воздуха до более стабильной двуокиси:



В присутствии воды (атмосферная влага) двуокись азота превращается в азотную кислоту:



Так, попав под свежий грозовой дождик, мы получаем возможность искупаться в слабом растворе азотной кислоты.

Азот фиксируется в атмосфере и фотохимическим путем: поглотив квант света, молекула N_2 переходит в возбужденное состояние и соединяется с кислородом.

Проникая в почву, атмосферная азотная кислота способствует образованию разнообразных естественных удобрений. Из почвы соединения азота попадают в растения. Далее: «лошади кушают овес», а хищники – травоядных животных. По «пищевой цепи» идет круговорот веществ, в том числе и элемента № 7. При этом форма существования связанного азота меняется, он входит в состав все более сложных и нередко весьма активных соединений. Но не только «грозорожденный» азот путешествует по пищевым трактам.

Еще в древности было известно, что некоторые растения, в частности бобовые, способны повышать плодородие почвы.

«Или, как сменится год, золотые засеивай злаки

Там, где с поля собрал урожай, стручками шумящий,

Или где вика росла мелкоплодная с горьким люпином...»

Вчитайтесь: это же описание травопольной системы земледелия! Строки эти взяты из поэмы Вергилия, написанной около двух тысяч лет назад.

Пожалуй, первым, кто задумался над тем, почему бобовые дают прибавку урожая зерновых, был французский агрохимик Ж. Буссенго. В 1838 г. он установил, что бобовые обогащают почву азотом. Зерновые же (и еще многие другие растения) истощают почву, забирая, в частности, тот же азот. Буссенго предположил, что листья бобовых усваивают азот из воздуха, но это было заблуждением. В то время еще не догадывались, что дело не в самих растениях, а в особых микроорганизмах, вызывающих образование клубеньков на их корнях. В симбиозе с бобовыми эти организмы фиксируют азот атмосферы.

Известно довольно много различных азотфиксаторов: бактерий, актиномицетов, дрожжевых и плесневых грибов, сине-зеленых водорослей. И все они поставляют азот растениям. Но каким образом, без особых энергетических затрат, расщепляют инертную молекулу N_2 микроорганизмы? И почему одни из них обладают этой полезнейшей для всего живого способ-

ностью, а другие – нет? Долгое время это оставалось загадкой.

Механизм биологической фиксации элемента № 7 был раскрыт лишь недавно. Доказано, что усвоение элементного азота живыми организмами возможно благодаря восстановительным процессам, в ходе которых он превращается в аммиак. Решающую роль при этом играет фермент нитрогеназа. Его особые центры, содержащие атомы железа и молибдена, активируют азот для «стыковки» с водородом, который предварительно также активируется другим ферментом. Так из инертного азота получается весьма активный аммиак – первый стабильный продукт биологической фиксации азота.

Природная фиксация атмосферного азота ежегодно дает около 150 млн. тонн соединений этого элемента. Однако не весь связанный азот участвует в круговороте. Часть его выводится из процесса и отлагается в виде залежей селитры. Богатейшей кладовой оказалась чилийская пустыня Атакама в предгорьях Кордильер. Здесь годами не выпадают дожди, но изредка на склоны гор обрушиваются сильные ливни, вымывающие почвенные соединения. Потоки воды в течение тысячелетий выносили вниз растворенные соли, среди которых больше всего было селитры. Вода испарялась, соли оставались. Так возникло крупнейшее в мире месторождение азотных соединений, точнее, одного из этих соединений – натриевой селитры NaNO_3 .

Еще знаменитый немецкий химик Иоганн Глаубер, живший в XVII в., отметил исключительную важность азотных солей для развития растений. В своих сочинениях, размышляя о превращениях азотистых веществ в природе, он употреблял такие выражения, как «*нитрозные соки почвы*» и «*селитра – соль плодородия*». Но природную селитру в качестве удобрения стали применять лишь в начале прошлого века, когда начались разработки чилийских залежей. В то время это был единственный значительный источник связанного азота, от которого, казалось, зависит благополучие человечества. Об азотной промышленности тогда не могло быть и речи.

В 1824 г., еще при жизни английского экономиста Томаса Мальтуса, печально известного своей теорией перенаселения, вывоз чилийской селитры составлял всего около 1000 тонн в год, и большая ее часть шла на переработку в черный порох.

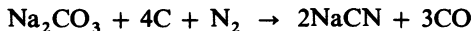
В 1887 г. соотечественник и тезка Мальтуса, известный ученый Томас Гексли, предсказал скорый конец цивилизации из-за «азотного голода», который должен наступить после выработки месторождений чилийской селитры (ее годовая добыча к этому времени составляла уже более 500 тысяч тонн). Через 11 лет другой знаменитый англичанин, физик Уильям Крукс, заявил в Британском обществе содействия наукам, что не пройдет и полувека, как наступит продовольственный крах, если численность народонаселения не сократится. Он также аргументировал свой прогноз тем, что в скором времени предстоит полное истощение залежей чилийской селитры со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Ни одно из этих пророчеств не оправдалось – человечество не погибло, а освоило искусственную фиксацию элемента № 7. Сегодня доля природной селитры – лишь 1,5% от мирового производства азотсодержащих веществ.

Соединения азота люди умели получать давно. Ту же селитру готовили в особых сараях-селитряницах, но очень уж примитивным был этот способ. «Выделяют селитру из куч навоза, золы, помета, оскребок кож, крови, картофельной ботвы. Кучи эти два года поливают мочою и переворачивают, после чего на них образуется налет селитры,» – такое описание селитряного производства приводится в одной старой книге.

Источником азотных соединений может служить и каменный уголь, в котором содержится до 3% азота. Связанного азота! Его стали выделять при коксовании углей, улавливая аммиачную фракцию (пропуская ее через серную кислоту). Конечный продукт – сульфат аммония. Но и это, в общем-то, крохи. Трудно даже представить, какими путями развивалась бы наша цивилизация, не будь решена проблема промышленной фиксации атмосферного азота.

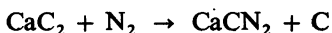
Впервые азот воздуха связал еще Шееле в 1775 г. Нагревая в атмосфере азота соду с углем, он получил цианистый натрий:



В 1780 г. Пристли установил, что объем воздуха, заключенный в перевернутом над водой сосуде, уменьшается, если через него пропустить электрическую искру, а вода при этом

приобретает свойства слабой кислоты. Этот эксперимент был, как мы теперь понимаем, моделью природной фиксации атмосферного азота. Четыре года спустя Кавендиш, пропуская электрический разряд через воздух, заключенный в стеклянной трубке со щелочью, обнаружил там селитру. И хотя все эти эксперименты не могли в то время выйти за пределы лабораторий, в них виден прообраз промышленных способов связывания азота – дугового и цианамидного.

Цианамидный способ был запатентован в 1895 г. немецкими исследователями А. Франком и Н. Каро. По этому способу азот при нагревании с карбидом кальция связывался в цианамид кальция:



В 1901 г. сын Адольфа Франка, Альберт Франк, высказав идею, что цианамид кальция может служить хорошим удобрением, по существу положил начало промышленному производству этого вещества. Росту индустрии связанного азота способствовало появление дешевой электроэнергии. Наиболее перспективным способом фиксации атмосферного азота считался дуговой, при помощи электрического разряда. Вскоре после строительства Ниагарской электростанции американцы неподалеку пустили в 1902 г. первый дуговой завод. Через четыре года в Норвегии вступила в строй дуговая установка, разработанная теоретиком, специалистом по изучению северных сияний Х. Биркеландом и инженером-практиком С. Эйде. Заводы подобного типа получили широкое распространение, а селитру, которую они выпускали, стали называть норвежской. Однако расход электроэнергии при этом был чрезвычайно велик и составлял до 70 МВт·ч на тонну связанного азота, причем только 3% этой энергии использовалось по прямому назначению.

Оба этих способа связывания азота были лишь подходами к методу, появившемуся незадолго до первой мировой войны. Это о нем американский популяризатор науки Э. Слоссон весьма остроумно заметил: «Говорят, что англичане господствуют на море, а французы – на суше, немцам же остается только воздух. К этой шутке немцы отнеслись как будто бы серьезно и принялись использовать воздушное царство для нападения на англичан и французов... Кайзер <...> обладал целым фло-

том цеппелинов* и таким способом фиксации азота, который не был известен никакой другой нации. Цеппелины разрывались, как мешки с воздухом, но заводы, фиксирующие азот, продолжали работать и сделали Германию независимой от Чили не только в годы войны, но и в мирное время...»**

Слоссон был не совсем прав, говоря о том, что способ фиксации азота в аммиак был известен только в Германии. Теоретические основы этого процесса были заложены французскими и английскими учеными. Еще в 1784 г. знаменитый К. Бертолле установил состав аммиака. Через пять лет англичанин У. Остин предпринял первую попытку синтеза NH_3 из азота и водорода. И, наконец, французский химик А. Ле Шателье, отчетливо сформулировав *принцип подвижного равновесия*, в 1901 г. синтезировал аммиак, применив повышенное давление и катализаторы: губчатую платину и железо. Реакция азота с водородом обратима, и в конце концов скорость образования аммиака становится равной скорости его распада, т.е. устанавливается подвижное равновесие:



В таких реакциях содержание образовавшегося вещества в смеси, или, как говорят специалисты, «выход» продукта, зависит от ряда условий: от свойств реагирующих веществ, их относительных количеств, давления и температуры. Так, присутствие аммиака в смеси одного объема азота с тремя объемами водорода можно обнаружить только при температуре около 200°C . Максимальный выход NH_3 при этом составляет около 15%. Однако равновесие наступает настолько медленно, что получить аммиак в таких условиях практически невозможно. Если повысить температуру, при которой протекает реакция, то равновесие достигается быстрее, но выход аммиака уменьшается. Так, при 500°C его образуется всего лишь 0,121%. Однако выход NH_3 можно значительно увеличить, повысив давление смеси. Например, при температуре 200°C и давлении в 100 МПа выход аммиака составит 98,3%. Однако реакцию можно ускорить и не прибегая к слишком высокому давлению и температуре. Для этого необходимы катализаторы.

*Так по имени немецкого конструктора графа Ф. Цеппелина сначала назывались дирижабли.

**Слоссон Э. Азот и война. Л., Науч. химико-техн. изд-во, 1925, 'с. 10.

Собственно говоря, на этом и основывался Ле Шателье. Исследования по синтезу аммиака в начале нашего века проводили также Э. Перман и Г. Аткинс в Англии. В своих экспериментах они использовали в качестве катализаторов различные металлы, в частности медь, никель, кобальт. Осуществить же синтез аммиака из азота и водорода в промышленных масштабах впервые удалось в Германии накануне первой мировой войны. В этом заслуга известного химика Фрица Габера. В 1918 г. он был удостоен Нобелевской премии по химии за создание способа *синтеза аммиака*.

Технология производства аммиака, разработанная немецким ученым, значительно отличалась от других методов, применявшихся в то время. Здесь впервые был осуществлен принцип замкнутого цикла с непрерывно действующей аппаратурой и утилизацией энергии. В качестве катализатора использовалось железо с добавками окислов алюминия и калия. Окончательную разработку технологии синтеза аммиака завершил друг и коллега Габера, Карл Бош, который в 1931 г. также был удостоен Нобелевской премии — за развитие методов химического синтеза.

Однако при всех своих достоинствах процесс Габера–Боша выглядит весьма несовершенным по сравнению с фиксацией, осуществляемой бактериями.

«Биологическая фиксация атмосферного азота... была неким парадоксом, постоянным вызовом для химиков, своего рода демонстрацией недостаточности наших знаний»*.

Эти слова принадлежат советским химикам М. Е. Вольпину и А. Е. Шилову, которые предприняли попытку фиксации молекулярного азота в мягких (обычных) условиях. После долгих экспериментов было обнаружено, что в присутствии соединений переходных металлов — титана, ванадия, хрома, молибдена и железа — элемент № 7 активируется, и при обычных условиях образуются комплексные соединения, разлагаемые водой с выделением аммиака. Именно эти металлы являются активными центрами ферментов у бактерий-азотфиксаторов и они же служат прекрасными катализаторами в производстве NH_3 . Это удивительное открытие было сделано в 1964 г. в Институте

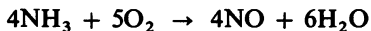
*«Правда», 1975, 2 марта.

элементоорганических соединений АН СССР, в лаборатории М. Е. Вольпина.

В факт фиксации азота в мягких условиях отказывались верить многие специалисты. Однако вскоре канадские ученые А. Аллен и К. Зеноф, исследуя реакцию гидразина (N_2H_4) с треххлористым рутением, получили, опять же в мягких условиях, химический комплекс, в котором азот оказался связанным. Этот результат настолько противоречил обычным представлениям, что редакция журнала, в который исследователи послали свою статью с сенсационным сообщением, отказалась ее печатать. Пока еще рано говорить о промышленных способах мягкой фиксации атмосферного азота, однако достигнутые успехи позволяют в это верить.

Современной наукой не забыты и старые способы получения азотных соединений — через окислы. Здесь основные усилия направлены на разработку технологических процессов, ускоряющих расщепление молекулы N_2 на атомы.

Но пока азотные соединения, в том числе и азотную кислоту, получают в основном только через аммиак. И здесь опять не обойтись без воздуха, без другой важнейшей его составляющей — кислорода. Аммиак окисляют кислородом воздуха в окислы в присутствии катализаторов



и далее идут те же реакции, что и при «грозовой» фиксации N_2 .

Впервые об окислении аммиака на платиновом катализаторе сообщил еще в 1839 г. немецкий ученый Ф. Кюльман. Однако получение азотной кислоты таким способом в промышленных масштабах стало возможным лишь в 1902 г., когда известный физикохимик В. Оствальд предложил для окисления аммиака специальный контактный аппарат. Нельзя не назвать талантливого русского инженера И. И. Андреева, предложившего самый совершенный по тому времени способ производства азотной кислоты. Он первым использовал для каталитического окисления аммиака сетку из сплава платины с родием. Выход азотной кислоты на заводах, построенных в Донбассе по проектам Андреева во время первой мировой войны, составлял 93–97% от теоретического.

Азотная кислота – важнейший окислитель в химической промышленности. С ее помощью получают и удобрения, и полимерные материалы, и красители, и взрывчатые вещества...

Современное мировое производство связанного азота составляет более 40 млн. тонн, и к концу века оно должно увеличиться по крайней мере в пять раз. Такие перспективы не только радуют, но и вызывают опасения.

В наше время азотные удобрения – это не только вещества плодородия, но и загрязнители окружающей среды. Они вымываются из почвы в реки и озера, вызывают цветение водоемов, разносятся воздушными потоками на дальние расстояния... В грунтовые воды уходит до 13% азота, содержащегося в минеральных удобрениях. Азотные соединения, особенно нитраты, вредны для людей и могут быть причиной отравлений. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) приняла предельно допустимую концентрацию нитратов в питьевой воде: 22 мг/л для умеренных широт и 10 мг/л для тропиков. В СССР санитарные нормы регламентируют содержание нитратов в воде водоемов по «тропическим» меркам – не более 10 мг/л.

Где же выход из такой ситуации? Как решить дилемму: азот – удобрение, азот – отравитель? Или опять самые мрачные прогнозы?

В 1974 г. канадский микробиолог Дж. Чайлдс сделал сенсационное открытие: азотфиксирующие бактерии могут сосуществовать и с небобовыми растениями! А затем обнаружилось, что они с таким же успехом фиксируют азот даже и в искусственной питательной среде. Эти факты позволяют делать далеко идущие выводы. Специалисты-агрохимики многих стран мира срочно принялись искать «партнеров» для симбиоза с азотфиксаторами. «Подсадив» такие бактерии на кукурузу или, скажем, пшеницу, можно тем самым перевести их на частичное «самообеспечение» азотом, сократив расход минеральных удобрений. И, надо сказать, подобные эксперименты удаются. По крайней мере ученые Бразилии и США приступили к разработке совместной программы, которая предусматривает применение препаратов азотфиксирующих бактерий для обработки семян злаков. По утверждению авторов этой разработки, уже через пять лет после ее завершения расход азотных удобрений можно будет сократить в два раза.

Итак, хотя бы на примере азота можно утверждать, что человечество всегда находит выход из тупика, и нам, пожалуй, не следует опасаться даже самых мрачных прогнозов.

ОГНЕННЫЙ ВОЗДУХ

О полезная природа,
Исцели страдания наши,
Дай частицу кислорода
Или две частицы даже!

Н. Заболоцкий

Пытливый человеческий ум не мог примириться с мыслью, что воздух непознаваем. Неосязаемая субстанция с самого начала зарождения науки привлекала к себе пристальное внимание. Воздух к себе притягивал...

О двух началах воздуха — активном и пассивном — догадывались давно. До нас дошли сведения о том, что еще в VIII в. китайский алхимик Мао Хоа предполагал, что атмосфера состоит из двух частей: «полного» и «неполного» воздуха. Различные вещества, такие как сера, уголь и даже металлы, «сгорают», соединяются, по его мнению, с «неполным воздухом». Из селитры, например, такой «воздух» можно выделить нагреванием.

И в трудах Леонардо да Винчи также встречается упоминание о составной части воздуха, которая участвует в процессах горения. Таким образом, горение и окисление издавна связывали с тем веществом, которое мы сегодня называем кислородом.

В 1665 г. знаменитый английский ученый Роберт Гук опубликовал сочинение «Микрография», в котором изложил общую теорию горения. Он, как и Мао Хоа, предполагал, что в воздухе содержится особое вещество, которое в связанном состоянии имеется в селитре. Этому веществу Гук отводил главную роль в процессах горения. Через четыре года соотечественник Гука оксфордский врач Дж. Мэйоу издал на латинском языке трактат «О селитре и воздушном спирте селитры», в котором излагал результаты своих опытов. Мэйоу считал,

что селитра состоит из двух частей, которые он назвал «кислым селитряным спиртом» и «щелочным веществом». В воздухе, по его мнению, содержалась только составная часть этого спирта — «воздушный спирт селитры» (или «воздушно-селитряные частицы»), который обладал способностью поддерживать горение и дыхание. Стоит упомянуть о блестящих экспериментах Мэйоу с дыханием животных, поставленных им более чем за сто лет до Пристли и Лавуазье. Конечно же, «воздушный спирт селитры» был, как мы понимаем, кислородом, и сегодня приходится лишь удивляться, как близок был к истине Мэйоу. Он утверждал, что воздушно-селитряные частицы при вдохе поглощаются в легких кровью, в результате чего возникает брожение, которое и вызывает «теплоту крови».

«Я придерживаюсь того взгляда, — писал Мэйоу, — что и у животных, и у растений селитряный воздушный спирт есть главный источник жизни и дыхания»*.

Этот замечательный ученый не был понят современниками, его доводы о воздушно-селитряном спирте не были приняты даже таким гигантом науки, как Роберт Бойль. Ранняя смерть Мэйоу (ему было всего 38 лет) отодвинула открытие кислорода еще на столетие. Но, скорее всего, открытие это, если так можно выразиться, еще не созрело...

Ни датский химик Оле Борх, ни английский ботаник Стивен Гейлс, выделившие в XVIII в. из селитры горючий газ, не допускали мысли, что он может быть составной частью воздуха. Время открытия элемента № 8 все еще не наступило. Формально его авторами стали выдающиеся химики Шееле, Пристли и Лавуазье. Формально потому, что фактически кислород в начале XVII в. открыл голландский изобретатель Корнелий Дреббель, который применил этот газ в своей подводной лодке. Но это открытие держалось в строгом секрете и не оказало влияния на дальнейшее развитие науки.

В феврале 1774 г. парижский химик Пьер Байен сообщил о результатах своих опытов с красным порошком окиси ртути, обладавшим удивительными свойствами. При нагревании чуть

*Цит. по кн.: Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. М., Наука, 1969, с. 203.



Карл Вильгельм Шееле
(1742–1786)

Выдающийся шведский химик. Несмотря на то, что всю жизнь проработал аптекарем, был удостоен звания члена Стокгольмской академии наук. Первым получил многие химические соединения, в том числе перманганат калия, глицерин, синильную кислоту. Он доказал сложный состав воздуха. Открыл кислород и хлор.

ниже температуры красного каления этот порошок выделял какой-то газ и превращался в блестящие подвижные шарики ртути. Байен назвал неизвестный газ (это был, разумеется, кислород), *«упругим флюидом»*, отнеся его к одному из видов «связанного воздуха», так как он заключался в твердом теле.

Открытие элемента № 8 связывают с именем выдающегося шведского ученого Карла Вильгельма Шееле. В 32 года он был избран членом Стокгольмской Академии наук, хотя всю жизнь оставался простым аптекарем. Отклонив несколько заманчивых предложений занять профессорскую кафедру, Шееле отдал предпочтение «чистой» науке, науке для себя. Он спешил, как бы предчувствуя, что для занятий любимым делом ему отпущено слишком мало времени. Шееле умер, а вернее, погиб в возрасте 44 лет, отравившись сильнейшими ядами — синильной кислотой и мышьяковистыми соединениями, которые именно он получил впервые.

«Он не мог прикоснуться к какому-либо телу без того, чтобы не сделать открытия», — так впоследствии говорили о нем коллеги. И вот чрезвычайно плодотворное в жизни ученого пятилетие с 1768 по 1773 г. завершается главным открытием его

жизни — открытием кислорода. Шееле получил этот газ, нагревая различные вещества: окись ртути, карбонат серебра, селитру и, наконец, смесь пиролюзита с серной кислотой... Результаты этих экспериментов он изложил в капитальном труде «Химический трактат об огне и воздухе». Но Шееле не повезло: по недосмотру издателя «Трактат» вышел только в 1777 г., когда работы Пристли и Лавуазье уже были опубликованы.

Первостепенную роль в открытии кислорода сыграла окись ртути, или, как ее называли, ртутная окалина. Она служила прекрасным источником «огненного воздуха» в экспериментах химиков-пневматиков. Действительно, чего же проще: нагревай красный порошок и получай газ, способствующий горению и дыханию. Вот как описывает, например, Дж. Пристли свое открытие кислорода:

«1 августа 1774 года я попытался извлечь воздух из ртутной окалины и нашел, что воздух легко может быть изгнан из нее посредством линзы. Этот воздух не поглощался водой. Каково же было мое изумление, когда я обнаружил, что свеча горит в этом воздухе необычайно ярким пламенем. Тщетно пытался я найти объяснение этому явлению»*.

Шееле и Пристли были убежденными флогистиками и не поняли существа своего открытия. Шееле получил кислород, исходя из ложных предпосылок. Он собирался «разложить» теплоту на флогистон и «огненный воздух». И Пристли, как мы видим, собственное открытие поставило в тупик. Это и понятно. В то время окись ртути считалась простым веществом «с удаленным флогистоном», поэтому выделение из нее еще одного «воздуха» казалось чудом.

Природу кислорода объяснил Лавуазье. В 1777 г., будучи в Париже, Пристли рассказал своему французскому коллеге об экспериментах с «дефлогистированным воздухом», как он называл кислород. Лавуазье чрезвычайно заинтересовался тем фактом, что в горении и дыхании участвует не весь воздух, а только его часть. Ученый возобновил исследование процессов

*Цит. по кн.: Популярная библиотека химических элементов. Изд. 2-е. Книга первая. М., Наука, 1977, с. 114.

горения. Он поставил простой, но остроумный опыт. Нагревая ртуть в запаянной реторте, он наблюдал образование ртутной окалины. При этом объем воздуха уменьшался на 8 кубических дюймов. Получившиеся 2,7 г красных чешушек окалины Лавуазье нагревал в другой реторте; в результате образовалось 2,5 г ртути и 8 кубических дюймов воздуха с такими же свойствами, о которых ему рассказал Пристли. Самое интересное было то, что объем воздуха в первой половине опыта уменьшался как раз на те же 8 кубических дюймов, а остаток не поддерживал ни горения, ни дыхания (это был азот).

«Я... ограничусь лишь указанием на то,—писал Лавуазье,— что вещество, соединяющееся с металлами во время их прокаливания, которое увеличивает их вес и превращает их в землю, есть не что иное, как наиболее полезная для здоровья и наиболее чистая часть воздуха...»*

«Чистая часть», выделенная из окалины, прекрасно поддерживала горение и дыхание, и поэтому Лавуазье сначала назвал ее «жизненным газом». Но уже в 1787 г. в новой химической номенклатуре «жизненный газ» классифицируется как простое тело и получает название *кислород*, от латинского *oxigenium* — *рождающий кислоту*.

С давних времен обжиг металлов на воздухе, или, как называли этот процесс, *кальцинация* (от латинского *calx* — *известь*), сопоставляли с процессами горения, скажем, дерева или угля. И в том и в другом случае оставалась «земля» (окалина и зола). Горение представлялось как распад с выделением летучих продуктов. Роль воздуха при этом оставалась неясной, хотя в металлургии издревле применяли дутье и было хорошо известно, что для «питания» огня воздух совершенно необходим.

Лавуазье, тщательно исследовав кальцинацию и горение, пришел к выводу, что в этих процессах нет места флогистону, а все определяется именно кислородом.

Вспомним, что свободный кислород в нашей атмосфере — продукт фотосинтеза. Но образование молекул O_2 происходило еще и задолго до возникновения жизни, правда, в незначительных количествах, за счет фоторазложения CO , CO_2 и паров воды. Однако ввиду своей активности свободный кислород

*Лавуазье Антуан-Лоран. Мемуары. Ленингр. обл. изд-во, 1931, с. 37.

сразу исчезал, вступая в реакции с различными веществами. И поэтому говорить о молекулярном кислороде в нашей атмосфере до возникновения жизни, пожалуй, не приходится.

Чтобы «пропустить» весь атмосферный кислород, все его $1,5 \cdot 10^{15}$ т через живое вещество, требуется примерно две тысячи лет. А зеленым растениям нужно всего лишь шестьсот лет, чтобы произвести всю ту массу кислорода, которая находится в воздухе. Стоит заметить, что самыми активными поставщиками кислорода являются отнюдь не растения суши, а мельчайшие планктонные водоросли морей и океанов. И если «сухопутные» растения вырабатывают ежегодно $5,3 \cdot 10^{10}$ т этого газа, то морские — почти в десять раз больше.

С появлением свободного кислорода на поверхности нашей планеты началась эра великого окисления. Изменился состав атмосферы. Быстро окислились аммиак, метан, окись углерода, сернистые газы. Претерпели изменение и минералы земной коры. Закисные железные руды превратились в окисные, сульфиды — в сульфаты. Произошло окисление ванадиевых, марганцевых, урановых и других соединений. В конце концов состав атмосферы стабилизировался.

Содержание в воздухе кислорода, впрочем, как и остальных газов, остается постоянным благодаря равновесным процессам, происходящим у земной поверхности. Важнейший из них — это газообмен между атмосферой и Мировым океаном. В каждой из этих сред сохраняется неизменное соотношение газов, которое обусловлено их неодинаковой растворимостью в воде. Например, объемное соотношение между кислородом и азотом в атмосфере составляет 1:4, а в океане — 1:2, ибо растворимость кислорода выше.

Несмотря на глобальные масштабы, дебет и кредит кислорода в бухгалтерской книге природы сходятся довольно точно. Но этот баланс может быть легко нарушен. Вот один характерный пример. Природа связала единой невидимой цепью мельчайших планктонных рачков и гигантов моря — усатых китов. Планктонные рачки питаются планктонными же водорослями, а киты — рачками. Не секрет, что киты сейчас находятся на грани уничтожения. За последние пятьдесят лет их истреблено больше, чем за четыре предыдущих столетия. Чем меньше китов, тем больше рачков. Чем больше рачков, тем меньше

планктонных водорослей. А чем меньше планктонных водорослей, тем меньше кислорода получает наша планета. Вот ведь какой выстраивается ряд...

И еще один пример грубого вмешательства человека в кислородный баланс. Слово известному норвежскому путешественнику и ученому Туру Хейердалу:

«В 1947 году, когда бальсовый плот «Кон-Тики» за 101 сутки прошел около 8 тысяч километров в Тихом океане, экипаж на всем пути не видел никаких следов человеческой деятельности, если не считать разбитого парусника на рифе, к которому прибило плот. Океан был чист и прозрачен. И для нас было настоящим ударом, когда мы в 1969 году, дрейфуя на папирусной лодке «Ра», увидели, до какой степени загрязнен Атлантический океан. Мы обгоняли пластиковые сосуды, изделия из нейлона, пустые бутылки, консервные банки. Но особенно бросался в глаза мазут»*.

Да, мазут и нефть — основные загрязнители океана. По данным ООН, одни только танкеры выпускают в море около миллиона тонн нефтепродуктов в год, а всего в океан сбрасывается нефти в десять раз больше. Одна тонна нефти может покрыть пленкой до 10 км² водной поверхности. Вот и получается, что сейчас почти треть всей площади морей и океанов покрыта тончайшим нефтяным покрывалом. Конечно, оно разрушается, но все же успевает сыграть свою злую роль — замедлить фотосинтез планктонных водорослей, а значит, и сократить «поставку» живительного кислорода.

Но вернемся к истории элемента № 8. До сегодняшнего дня еще не получены ответы на многие вопросы и, в частности, на вопрос: что такое эффект Дола? В самом конце 20-х годов американцы В. Жок и Х. Джонстон, усомнившись в однородности природного кислорода, открыли его изотопы. Через несколько лет их соотечественник М. Дол обнаружил различие в изотопном составе атмосферного кислорода и кислорода, полученного при электролизе воды. Природный кислород, как известно, состоит из трех стабильных изотопов: ¹⁶O (99,759%), ¹⁷O (0,037%) и ¹⁸O (0,204%). Дол установил, что в кислороде, полу-

*Хейердал Т. Узвимое море. Л., Гидрометеиздат, 1973, с. 11.

ченном из воды, тяжелого изотопа ^{18}O примерно на три процента меньше, чем в атмосферном. Исследователь не смог объяснить причину этого явления, однако изотопный состав элемента № 8 различного происхождения весьма заинтересовал ученых многих стран.

Разгадать тайну эффекта Дола попытались советские ученые А. П. Виноградов и Р. В. Тейс. В 1940 г. они провели опыты, которые показали, что кислород, полученный при разложении морской воды, легче кислорода воздуха, а тот, в свою очередь, легче кислорода, входящего в состав двуокиси углерода. Но совершеннейшей неожиданностью было то, что кислород, выделяющийся при фотосинтезе, имеет такой же изотопный состав, что и кислород обыкновенной воды. Это меняло представление о механизме процессов, происходящих в зеленом листе. До этих пор считалось, что свободный кислород отщепляется при фотосинтезе от молекулы CO_2 , тогда как на самом деле он получается при распаде молекулы H_2O . В 1941 г. этот факт, назависимо от советских ученых, подтвердила группа американских исследователей во главе с профессором С. Рубеном.

Война помешала продолжению экспериментов, но сразу же после ее окончания Виноградов и Тейс вернулись к волновавшей их проблеме. Они выяснили, что изотопы кислорода обладают различной активностью: чем легче изотоп, тем быстрее он вступает в химические реакции. Так, самый легкий изотоп ^{16}O намного активнее тяжелого ^{18}O и играет первостепенную роль в процессах жизнедеятельности. Именно ^{16}O накапливается в живом веществе и поэтому все время выводится из воздуха. А если так, то концентрация ^{18}O в атмосфере возрастает как раз на те самые три процента, обнаруженные в свое время Долом. Казалось, загадка была разгадана, однако через несколько лет доктор биологических наук В. М. Кутюрин показал, что эффект Дола нельзя объяснить только теми процессами, которые открыли Виноградов и Тейс. Видимо, еще какие-то факторы, пока не известные, влияют на изотопный состав кислорода атмосферы.

Как часто слово «кислород» соседствует со словом «жизнь». И это не случайно, ибо кислород — символ жизни, вещество, без которого нам не прожить и пяти минут. И когда мы говорим

«необходим как воздух», то подразумеваем, конечно же, кислород.

Элемент № 8, пожалуй, единственный химический элемент, который потребляется живыми существами непосредственно в чистом виде. Это понятно: он нужен для окисления. Однако не для того прямого окисления, которое сродни горению, а для окисления биологического.

Английский физиолог Дж. Баркрофт заметил:

«...анаэробы могут жить без кислорода всегда, лягушки — дни, человек — минуты».*

Достаточно сказать, что один глоток чистого кислорода при дыхании равен пяти глоткам воздуха. Поэтому-то кислород и играет важную роль в медицине. Все знают о кислородных подушках, получили применение также кислородные маски, кислородные ванны, палатки и даже кислородные коктейли. Лечение кислородом называют оксигенотерапией. В последние годы применяется более совершенный способ лечения в специальных барокамерах под повышенным давлением кислорода — так называемая гипербарическая оксигенация.

Впервые повышенное давление для лечения больных использовал английский врач Хеншоу еще в 1662 г. Его «барокамера» представляла собой большую деревянную бочку, в которую при помощи мехов нагнетался воздух.

Гипербарическая оксигенация основана на резком насыщении организма кислородом. Если при обычном атмосферном давлении (0,1 МПа) в 100 мл человеческой крови содержится 2,3 мл кислорода, то при давлении в 0,5 МПа — уже около 7 мл. В барокамере можно с большим успехом оперировать на таких жизненно важных органах, как головной мозг и сердце, лечить опасные заболевания, связанные с кислородной недостаточностью: инфаркт миокарда, инсульт мозга.

В 1975 г. в Москве открылся крупнейший в мире центр лечения кислородом под повышенным давлением, оснащенный самым совершенным оборудованием. «Перед дыханием жизни отступает даже смерть» — так озаглавил один канадский журнал статью об успехах баролечения в Советском Союзе. В 1976 г.

*Цит. по кн.: Агаджанян Н. А. Организм и газовая среда обитания. М., Медицина, 1972, с. 17.

группе советских хирургов во главе с В. И. Бураковским была присуждена Ленинская премия за цикл исследований в области гипербарической оксигенации и внедрение этого метода в хирургию сердца.

Но, разумеется, не только в процессах жизнедеятельности, элемент № 8 имеет первостепенное значение.

«Свободный кислород в молекулах O_2 , как мы знаем, в форме газа и еще больше в водных растворах играет совершенно исключительную роль во всех химических реакциях земной поверхности. Можно сказать, что он своим присутствием меняет их ход...»*

Это сказал Вернадский.

Одной из первых таких реакций, с которой познакомился человек, было горение. И, конечно же, излишне говорить о первостепенной роли кислорода в этом процессе. Разумеется, для интенсификации горения лучше было бы иметь чистый кислород, а не воздух, и не тратить изрядную долю тепла на бесполезное нагревание азота. Однако вопрос о такой рационализации встал сравнительно недавно, тогда, когда появилась возможность промышленного производства чистого кислорода. Получение его в значительных количествах химическим путем, разложением веществ при нагревании или электролизом воды было весьма дорогостоящим делом.

Проблему решило «простое» *разделение воздуха*. Мы не зря заключили в кавычки слово простое, ибо разделение воздуха на кислород и азот технически довольно сложно, однако пока это самый совершенный процесс получения чистого O_2 (да и N_2 тоже!) в промышленных масштабах. Метод основан на том, что кислород и азот имеют разные температуры кипения (соответственно $-182,9^\circ C$ и $-195,8^\circ C$), и, следовательно, один из них (N_2) будет испаряться раньше, чем другой. Таким образом, сжижая воздух и повторяя этот процесс многократно, можно достигнуть необходимой степени разделения азота и кислорода.

Первые попытки ожижения воздуха относятся к 70-м годам прошлого века. Следует сказать, что к тому времени многие газы удалось перевести в жидкое состояние, однако были и та-

*Вернадский В. И. Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 50.

кие, которые никак не поддавались сжижению. Эти газы еще М. Фарадей назвал «постоянными», ибо ошибочно считалось, что их вообще невозможно превратить в жидкость. К ним относили и воздух.

Причины неудачных попыток сжижения воздуха стали ясны лишь после того, как Д. И. Менделеев в 1860 г. установил существование *критической температуры*, назвав ее температурой абсолютного кипения, а американский ученый Дж. Гиббс разработал в 1876 г. *термодинамическую теорию критического состояния вещества*. Таким образом, оказалось, что для ожижения воздуха требуется не только высокое давление, но и чрезвычайно низкая степень охлаждения, которую называют *глубоким охлаждением* (критические температуры и давление N_2 соответственно равны $-147^\circ C$ и 3,35 МПа).

И вот в 1877 г. французский ученый Л. П. Кальете и швейцарский ученый Р. Пикте впервые ожижили воздух, охладив его до температуры ниже критической. В 1883 г. польские ученые К. Ольшевский и З. Вроблевский получили в измеримых количествах сначала жидкий кислород, а затем и жидкий азот. Однако первый промышленный способ разделения воздуха был предложен лишь в середине 90-х годов немецким ученым К. Линде, учителем Рудольфа Дизеля, знаменитого изобретателя двигателя внутреннего сгорания. Интересно, что именно профессор Линде в одной из своих лекций высказал идею, которую Дизель позже воплотил в двигателе, названном его именем. Но сначала по протекции своего учителя Дизель работал агентом по продаже холодильных установок. Талантливейший инженер, Дизель стал крупнейшим специалистом в области холодильной техники и был удостоен почетной докторской степени.

Разделение воздуха и получение чистого кислорода в больших количествах, по существу, открывало новую эру в промышленности. Академик П. Л. Капица еще в 1944 г. об этом сказал так:

«...90% нашей техники основано на использовании кислорода. Сжигание бензиновых паров в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания, сжигание угля в топках котлов теплоцентралей, в жерле доменной печи, сгорание серного колчедана и еще множество других важнейших технических процессов ос-

Петр Леонидович Капица

(р. 1894)

Замечательный советский ученый, дважды Герой Социалистического Труда, лауреат Нобелевской премии. Организатор и первый директор Института физических проблем АН СССР. Разработал способ сжижения воздуха с помощью турбодетандера. Исследовал свойства жидкого гелия и открыл явление сверхтекучести.



новано на окислении. Представьте себе, что вслед за интенсификацией дыхания, вслед за интенсификацией пламени горелки сварочного аппарата мы начнем интенсифицировать все процессы в технике, в которых применяется кислород. Какую выгоду это может нам дать для народного хозяйства?

Таким образом, перед нами возникает вопрос: как наиболее дешево можно получить кислород? Наука может на это ответить»*.

При этом ученый имел в виду создание усовершенствованного процесса разделения воздуха с помощью турбодетандера, за разработку которого он был удостоен в 1945 г. звания Героя Социалистического Труда.

Производство чистого кислорода привело к развитию автоматической (самопроисходящей) сварки и резки металлов. В 1901 г.

*Капица П. Л. Эксперимент, теория, практика. М., Наука, 1977, с. 46-47.

появился кислородно-ацетиленовый способ сварки, предложенный французским инженером Ш. Пикаром. Однако наибольшее применение получил кислород в металлургии.

Наши предки выплавляли железо в примитивных горнах, в которые с помощью мехов подавался воздух. Такой способ назывался сыродутным, что говорит само за себя. Итак, издревле воздушное дутье — непеременившееся условие пирометаллургии — металлургических процессов, проводимых при высоких температурах. И хотя сыродутный способ давно отошел в прошлое, современное производство стали по-прежнему базируется на применении воздушного дутья, более того — дутья, обогащенного кислородом.

Получить сталь непросто. Сначала в доменных печах из руды, кокса, известняка, применяя воздушное дутье, выплавляют чугуны — сплав железа с углеродом. Чтобы превратить его в сталь, нужно выжечь избыток углерода. Этого добиваются окислительной плавкой в мартеновских печах или путем продувки сжатого воздуха через расплавленный чугун в конвертере — специальной грушевидной печи. При переплавке, или, как говорят металлурги, переделе чугуна в сталь не только выжигается избыток углерода, но и происходит удаление нежелательных примесей: кремния, серы, фосфора. В условиях высокой температуры они соединяются с кислородом гораздо легче, чем с железом. Газообразные продукты окисления удаляются в атмосферу, а твердые окислы отделяются от железа в виде шлаков. Таким образом, именно воздушное дутье явилось важнейшим фактором, позволившим направленно изменять качество выплавляемой стали.

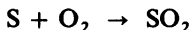
Еще более ста лет назад французский металлург А. Мартен, разработавший процесс выплавки стали в печах, и английский изобретатель Г. Бессемер, предложивший конвертерный способ, высказывались в пользу применения кислородного дутья. Однако первые опыты такого рода были проведены только в 1913–1914 гг. в Бельгии. Тогда воздух, обогащенный 23% кислорода, вдували в доменную печь. Но война прервала эти эксперименты. Попытки использования кислорода в производстве стали были предприняты в 20-х годах.

Лишь к середине нашего века создались благоприятные условия для самого широкого применения кислорода в метал-

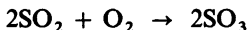
лургической промышленности. Использование в мартеновских печах воздушного дутья, обогащенного кислородом, значительно сокращает время плавки и расход топлива, а в конвертерном производстве—это еще и наиболее эффективное средство повышения качества стали. Каждый кубический метр кислорода, вдвухаемый в доменную печь, увеличивает выплавку чугуна на один килограмм. В настоящее время в черной металлургии используют дутье, обогащенное кислородом до 30%.

Но современная цветная металлургия и выплавка легированных и нержавеющей сталей также немислимы без применения кислорода. У нас в стране для интенсификации металлургических процессов расходуется около 65% всего получаемого кислорода. Вот уж поистине—огненный воздух!

Роль кислорода-труженика этим далеко не исчерпывается: химия находит ему все новое применение. Мы уже говорили о каталитическом окислении кислородом аммиака при получении азотной кислоты, но и производство серной кислоты, столь необходимой для промышленности, тоже невозможно без атмосферного O_2 . Современный процесс получения H_2SO_4 начинается с окислительного обжига сырья, содержащего серу (обычно это колчедан или самородная сера):



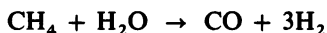
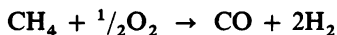
Образующийся сернистый ангидрид окисляют до серного ангидрида, который затем растворяют в воде:



Окисление сернистого ангидрида ведут в присутствии катализатора (платины или ванадиевых соединений) в специальных контактных аппаратах, поэтому и сам метод такого получения серной кислоты называется контактным.

Теперь поговорим о промышленных способах окисления органических веществ. Начнем с конверсии природного газа, а вернее, основной его составляющей—метана. *Конверсия* (от латинского—*превращение, изменение*)—процесс переработки исходной газовой смеси с целью изменения ее состава. Обычно конверсии подвергают метан и окись углерода, чтобы получить

водород для последующего синтеза аммиака и органических продуктов: метанола, высших спиртов, альдегидов. Вот как, например, идет каталитическая конверсия метана водяным паром при температуре 800 °С в присутствии никелевого катализатора:



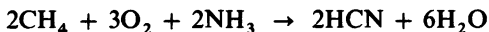
Газ очищают от примесей и получают чистый водород. Конверсию метана можно проводить и без катализатора, но при температуре порядка 1500 °С:



Прямым окислением углеводородов природного газа получают такие кислородсодержащие соединения, как ацетальдегид, формальдегид, метанол, ацетон, этиловый спирт, уксусную кислоту и другие.

Как и конверсию, окисление можно проводить либо термическим путем, либо применяя катализаторы. При этом сырьем обычно служит пропан или бутан.

Удивительных результатов можно добиться, сжигая различные смеси газов. Так, при неполном сгорании в воздухе природного газа с аммиаком получается синильная кислота:

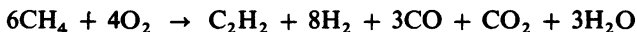


Эту реакцию в промышленных условиях ведут в присутствии катализатора (сетка из платинового сплава) при температуре 1200 °С.

Запах горького миндаля и чрезвычайную ядовитость синильной кислоты и ее солей – цианистого натрия и цианистого калия – оставим для детективных историй. Отметим другое: синильная кислота – не только средство борьбы с насекомыми-паразитами, грызунами и вредителями садовых культур, но и ценный исходный продукт для производства полимерных материалов.

Говоря об использовании кислорода воздуха в современном химическом производстве, невозможно обойти вниманием получение такого важного вещества, как ацетилен.

В настоящее время старый способ получения ацетилена из карбида кальция вытесняется более экономичным термоокислительным крекингом природного газа (метана). Дело в том, что получить ацетилен из карбида кальция очень просто: нужно только на карбид подействовать водой. Труднее получить сам карбид кальция. Для этого в дуговых печах спекают известняк с углем, затрачивая значительное количество электроэнергии. Термоокислительный крекинг метана основан на его разложении за счет теплоты сгорания при недостаточной подаче кислорода (температура в печи при этом достигает 1500 °С):



Мы подробно остановились на получении ацетилена потому, что он служит исходным веществом для синтеза огромного числа весьма важных органических соединений. Одним из крупнейших потребителей ацетилена является быстро растущее производство хлоропренового каучука. Ацетилен широко применяют для получения винилхлорида, ацетальдегида, уксусного ангидрида, винилацетата и т.д. Впрочем, на этом, пожалуй, следует остановиться, ибо перечисление веществ, которые можно синтезировать из ацетилена, потребовало бы нескольких томов. Именно томов, а не страниц! Судите сами: солидный словарь содержит обычно не менее 100 000 слов; сейчас известно около трех миллионов органических соединений, многие из которых можно получить, используя в качестве сырья ацетилен. Не случайно 70% производимого ацетилена идет на нужды химического синтеза, остальное расходуется на сварочные работы.

Можно было бы еще долго рассказывать о пользе «двух частичек кислорода»...

ПЕРВЫЙ «СЫН» ВОДОРОДА

К гениальным идеям, обгоняющим время, современники порой остаются равнодушными. И уж совсем почти безнадежно для таких идей увидеть свет, когда их автор лишен возможности поведать миру свои мысли. В начале 80-х годов прошлого

столетия молодой народоволец Николай Морозов, заключенный в одиночную камеру Шлиссельбургской крепости, написал оригинальный труд «Периодическая система строения веществ». Он утверждал, что менделеевская система химических элементов — лишь частный случай общей периодической системы веществ. Морозов предсказал существование элементов, которые известны сегодня как инертные газы, указав их атомные массы — 4, 20, 36, 82, поразительно совпавшие с открытыми позднее атомными массами гелия, неона, аргона и криптона. Свой труд Морозов сумел опубликовать лишь выйдя из заточения (т.е. через двадцать с лишним лет), когда все инертные газы были уже известны.

Собственно, открытием благородных, или инертных, газов и завершается история классической пневматической химии. Знакомство с этими газами произошло немногим более ста лет назад.

В 1868 г. ученый мир готовился к наблюдению солнечного затмения, которое должно было произойти 18 августа; для изучения короны нашего светила многие астрономы собирались впервые применить спектроскопы. Ожидалось, что наиболее полным затмение будет в Индии, куда и прибыл французский астроном П. Жансен. Вскоре Парижская Академия наук получила от него восторженную телеграмму: «Наблюдалось затмение, протуберанцы, замечательный неожиданный спектр. Протуберанцы состоят из газов»*. Жансен решил, что спектр солнечной атмосферы можно наблюдать не только при затмении, но и в обычных условиях. Эту идею он осуществил в последующие дни, и каждый раз он видел в спектроскопе не известную ранее ярко-желтую линию. Уже 19 августа Жансен, полный впечатлений, спешит поделиться ими с коллегами и отправляет подробное письмо в Парижскую Академию, которое прибывает туда 24 октября.

В тот же день, несколькими часами раньше, в Академию пришло письмо из Лондона от английского астрофизика Дж. Локьера; он также описывал неизвестную желтую линию, которую наблюдал в солнечном спектре. Целых два года Локь-

*Цит. по кн.: Кеезом В. Гелий. М., Издательство, 1949, с. 12.



Золотая медаль в честь открытия гелия на Солнце
П. Жансеном и Дж. Н. Локьером

ер пытался осуществить спектральную разведку Солнца, но это ему удалось только 20 октября 1868 г.

Итак, два сообщения об одном и том же открытии поступили одновременно с разных концов света. Столь удивительное совпадение так восхитило членов Парижской Академии, что они единодушно постановили выбить в честь этого замечательного события золотую медаль с изображением Жансена и Локьера.

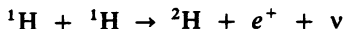
Ученые договорились обозначать новую, ярко-желтую спектральную линию символом D_3 , в отличие от известной желтой линии D , принадлежащей натрию. Но что крылось за этой загадочной линией: новый элемент или таинственное солнечное вещество? Локьер предположил, что это все же новый элемент, не известный на Земле, который он назвал *гелием*, от греческого *гелиос* – *солнце*. Английский астрофизик даже предполагал, что гелий не просто элемент, но и некая первичная материя. В течение 27 лет ярко-желтая линия была визитной карточкой инкогнито...

Открытие «земного» гелия было не столь эффектным. В самом деле, в 1895 г. «солнечный газ» был выделен из минерала клевеита (как тогда писали: из глыбы земли) замечательным английским физикохимиком Уильямом Рамзаем. Произошло это следующим образом. В начале 1895 г. Рамзай

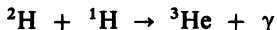
узнал о работах американского химика В. Гиллебранда, выделившего из урановых минералов какой-то инертный газ, который он квалифицировал как азот. Несмотря на то что спектральный анализ четко показывал наличие линии гелия, Гиллебранд не мог допустить его присутствия в земном минерале и из-за своей нерешительности поплатился приоритетом. (Впрочем, приоритет в науке — вещь довольно спорная. Так получилось и с «земным» гелием. Есть убедительные сведения, что этот газ на нашей планете впервые обнаружил в продуктах извержения директор обсерватории на Везувии, итальянский ученый Л. Пальмиери еще в 1881 г.) Но вернемся к Рамзаю. Повторив опыт Гиллебранда с разновидностью урановой смолки — минералом клевейтом, английский ученый получил какой-то газ, действительно несколько напоминавший азот. Однако первый же спектральный анализ показал знакомую ярко-желтую линию гипотетического солнечного вещества. Это была знаменитая D_3 . Независимо от Рамзая, в том же году и в том же минерале клевейте гелий был обнаружен известным шведским ученым П. Клеве. (Любопытно, что минерал этот получил свое название именно в честь Клеве.)

Гелий вполне оправдывает свое название. На нашей планете его очень мало. Килограмм земного вещества содержит в среднем 0,003 мг, а кубометр воздуха — 5,24 см³ гелия. Зато по распространенности во Вселенной этот элемент занимает второе место после водорода, и на его долю приходится около 23% всей массы космического вещества.

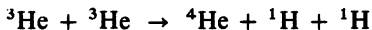
Вероятно, мы не очень погрешим против истины, если на вопрос, с чего начинается Вселенная, ответим: с синтеза гелия. Ибо это не только основной источник звездной энергии, но и процесс, дающий начало, по существу, всем процессам, происходящим в природе. О том, как образуется гелий в углеродно-азотном цикле, мы уже говорили. Но этот процесс идет в горячих звездах. В условиях не очень горячих звезд (относительно, разумеется), таких, например, как наше Солнце, происходят, по-видимому, преимущественно протон-протонные превращения. Они начинаются столкновением двух протонов, в результате чего образуется дейтрон, позитрон и нейтрино:



Затем дейтрон с протоном образует ядро легкого гелия:



Ядро легкого гелия может вступить во взаимодействие с другим таким же ядром, образуя ядро тяжелого гелия и два протона:



На Земле гелий постоянно образуется при распаде урана, тория и других радиоактивных элементов, содержащихся в различных минералах—«гелиевых рудах». Больше всего гелия в клевеите, фергусоните, самарските, моноците, которые входят в состав гранитного пояса нашей планеты. Минералы, обладающие плотной структурой, обычно довольно прочно удерживают гелий, однако при естественном разрушении пород он все же уходит в атмосферу. При этом гелий частично задерживается в пластах рыхлых пород и накапливается там, смешиваясь с другими газами. Так образовались месторождения гелия, имеющие зачастую промышленное значение, ибо его содержание в природных газах иногда достигает 10–13%. Особенно много гелия поступает в атмосферу по глубинным разломам земной коры—трещинам. Это явление было открыто в 1968 г. советскими учеными. Постоянное поступление гелия из литосферы в атмосферу Вернадский образно назвал «гелиевым дыханием».

Природный гелий состоит из двух стабильных изотопов ${}^4\text{He}$ и ${}^3\text{He}$. Их относительное содержание непостоянно, однако всегда преобладает ${}^4\text{He}$. Собственно, этот изотоп и представляет собой элемент № 2. В земных условиях источники гелия иные, чем в космических. Как мы уже говорили, образование этого элемента связывают с ядерными превращениями: ${}^4\text{He}$ —с радиоактивным альфа-распадом, ${}^3\text{He}$ —с реакциями, происходящими при участии легкого изотопа лития. Гелий-3 образуется также и в атмосфере при взаимодействии азота воздуха с космическими лучами.

Соотношение масс изотопов $[{}^3\text{He}]:[{}^4\text{He}]$ может служить характеристикой некоторых процессов, происходящих не только на Земле, но и вне ее. Изучение законов распределения и миграции изотопов гелия помогает решить вопрос о происхождении нашей планеты. Академик В. Г. Фесенков, например,

полагал, что Земля представляет лишь ядро первоначального протопланетного облака, которое потеряло значительную часть своей массы, состоявшей в основном из водорода и гелия, столь распространенных в космосе.

А можно ли сегодня найти следы протопланетного вещества? Изучение соотношения масс изотопов гелия как-будто бы дает положительный ответ на этот вопрос. Обычно для земной коры соотношение $[^3\text{He}]:[^4\text{He}]$ не превосходит 10^{-5} . Интересно, что в вулканических газах соотношение изотопов гелия в тысячи раз больше, чем в обычных природных газах. Этот факт позволил советским ученым Э.К. Герлингу и Л.К. Левскому предположить, что в недрах Земли присутствует первичный протопланетный гелий. Не правда ли, очень похоже на гипотезу Ларина о реликтовом водороде, заключенном в земном ядре?

Интересны свойства гелия. Начнем с того, что ядро ^4He — это известная всем альфа-частица. Обзаведясь двумя электронами, она превращается в полноценный атом гелия, настолько полноценный, что он является прочнейшим из всех известных атомов. Чтобы его разрушить, нужно затратить значительную энергию: 24,58 эВ для отрыва первого электрона и 54,4 эВ для отрыва второго. Этим и объясняется невероятная инертность элемента № 2. Энергия связи нуклонов ядра гелия тоже высока и составляет 28,294 МэВ. Благодаря такой устойчивости ядра гелия — альфа-частицы — и стали излюбленными «снарядами», которые физики-атомщики применяют при изучении ядерных превращений.

Однако гелий интересен не только этим: он самый трудносжижаемый газ. К концу прошлого века почти все известные в то время газы были ожигены и большинство из них даже были получены в твердом виде. Один лишь гелий составлял исключение. Голландский физик Г. Камерлинг-Оннес, пытавшийся ожигить этот «упрямый» газ, был в отчаянии: несмотря на самую совершенную по тому времени холодильную аппаратуру (всего лишь 5 градусов не хватало для достижения абсолютного нуля), гелий не сгущался. Целых десять (!) лет понадобилось упорному голландцу, чтобы достичь температуры 4,2 градуса абсолютной шкалы и, наконец, зафиксировать облачко гелиевого тумана. Это случилось 10 июля 1908 года.

Камерлинг-Оннес стал обладателем сразу двух рекордов: превратил в жидкость газообразный гелий и достиг самой низкой для своего времени температуры, что впоследствии позволило ему открыть явление сверхпроводимости. За исследования в области низких температур Камерлинг-Оннес в 1913 г. был удостоен Нобелевской премии. Но получить твердый гелий все же не удалось даже этому кудеснику сверхнизких температур. Это осуществил в 1926 г. его ученик и преемник В. Кеезом, применив высокое давление. Впоследствии Кеезом говорил:

«Гелий привлекает физиков... с двух точек зрения: как газ, позволяющий осуществить самый низкий температурный цикл, и как жидкость, обладающая исключительными, только ей одной присущими свойствами»*.

Разумеется, он имел в виду любопытнейшую особенность гелия – *сверхтекучесть*. Это явление связано с именами замечательных советских физиков П. Л. Капицы и Л. Д. Ландау: первый открыл его в 1938 г., а второй объяснил с помощью квантовой механики. При температуре 2,172 К происходит резкое изменение свойств жидкого гелия. Такой «преобразившийся» гелий получил название гелия II. Именно он-то и обладает сверхтекучестью – способностью вытекать через любые сколь угодно малые отверстия. Такая особенность гелия II объясняется практически полным отсутствием у него вязкости.

Вопрос, почему нет гелия в нашей атмосфере, сродни вопросу о том, почему в ней отсутствует водород. Гелий-«сын», хотя он и тяжелее своего «отца»-водорода, все же покидает пределы Земли и уносится в космическое пространство.

Легкий и инертный гелий давно уже нашел применение в водолазном деле и в авиации; им наполняют стратостаты, аэростаты, воздушные шары и дирижабли, которые снова «входят в моду». Вслед за поэтом С. Кирсановым мы можем сказать:

Гелий – легкая душа,
ты большая туча либо
сталь – пластинчатая рыба,
дирижабрами дыша.

*Кеезом В. Гелий. М., Издательство, 1949, с. 5.

СТОЛЬ ДОЛГОЕ ОТКРЫТИЕ

Рассказ о следующем инертном газе нам хотелось бы начать словами одного из его первооткрывателей — Уильяма Рамзая:

«Разрешение загадок обладает для многих людей большой притягательной силой. Природа окружает нас загадками, и попытка их решения принадлежит к величайшим радостям жизни»*.

Решением одной из загадок природы и было открытие инертных газов. Первым из них, существование которого удалось доказать совершенно точно, был элемент № 18, названный *аргоном* (по-гречески *argos* — *недеятельный*, или, попросту, *ленивый*). Этот элемент долгое время играл в прятки с учеными. Открытый, по существу, Генри Кавендишем и затем более чем через столетие предсказанный Николаем Морозовым, аргон стал известен благодаря изысканиям английских ученых Джона Рэлея и Уильяма Рамзая.

История открытия элемента № 18 драматична. Началась она с того, что Дж. Рэлей решил определить заново атомные массы некоторых газообразных элементов. Для кислорода и водорода ему удалось получить вполне удовлетворительные результаты: их атомные массы, измеренные разными способами, совпадали. Но с азотом (опять этот парадоксальный азот!) вышла заминка. Педантичный Рэлей, стараясь себя подстраховать, использовал в своих опытах азот различного происхождения: атмосферный, т.е. выделенный из воздуха, и «химический», т.е. полученный из азотсодержащих соединений, причем азот из воздуха оказался тяжелее.

Из каких бы веществ ни получал азот Рэлей и как бы тщательно он его ни очищал, разница между массами «воздушного» и «химического» азота оставалась. Ученый зашел в тупик. Однако памятуя о том, что один ум хорошо, а два — лучше, он через всемирно известный научный журнал «Nature» («Природа») обратился к своим коллегам за помощью и советом.

*Цит. по: ЖВХО им. Д. И. Менделеева, 1975, № 6, т. 20, с. 615.

«Я озадачен недавними результатами,— писал Рэлей,— и буду весьма признателен, если читатели предложат объяснение этого несоответствия. Используя два разных метода, я получил совершенно различные значения. Разница составляет около $\frac{1}{1000}$ части и сама по себе невелика, но выходит за пределы ошибок эксперимента и может быть приписана некоторым отклонениям в характере газа»*.

Однако этот призыв был гласом вопиющего в пустыне. Впрочем, один ответ все же пришел. Он был от Рамзая и походил скорее на ворчливое замечание, одобренное порцией традиционного британского юмора, нежели на дружеский совет. Рамзай писал, что он де засыпает над проблемой азота и пытается решить ее во сне. Рэлей был уязвлен, но не отступил. Слишком много труда и времени было затрачено: над этой проблемой он бился вот уже десять лет! Эксперименты были продолжены...

А Рамзай все же не выдержал и решил объяснить аномальное поведение атмосферного азота (это было в 1893 г.). Вскоре Рэлей получил письмо и от известного английского физика Дж. Дьюара, в котором автор обращал внимание на опубликованные всего лишь 18 лет назад работы Кавендиша. Оказывается, еще в 1785 г. этот ученый-отшельник высказал сомнение по поводу однородности открытого им азота. В своем чрезвычайно длительном эксперименте, пропуская электрическую искру через воздух, заключенный в стеклянной трубке, Кавендиш установил, что каждый раз остается пузырек какого-то газа, занимающий $\frac{1}{120}$ часть исходного объема. Этот старинный опыт оказался как бы маховиком, который сдвинул с мертвой точки всю проблему. Рэлей и Рамзай поняли, что речь идет о каком-то неизвестном газе и решили проверить результаты, полученные их предшественником.

24 мая 1894 г. Рамзай писал Рэлю:

«Не приходило ли Вам на ум, что имеется место для газообразных элементов в конце первого периода периодической таблицы? Например, Li, Be, C, N, O, F, X, X, X и т. д. Наличие 0,3% ($\frac{1}{120}$) этого газа в атмосферном азоте так увеличивает

*Цит. по кн.: Соловьев Ю. И., Петров Л. П. Вильям Рамзай. М., Наука, 1971, с. 88.

плотность последнего, что отношение плотности атмосферного азота к плотности чистого азота оказывается равным 231 : 230»*.

Дружеская рука была, наконец, протянута, и оба исследователя решили действовать единым фронтом. С этого времени лаборатория Рэлей в Эссексе и университетский колледж Рамзая в Лондоне почти ежедневно обменивались письмами.

Рэлей и Рамзай в своих тщательно поставленных экспериментах установили, что атмосферный азот, отделенный от других компонентов воздуха, содержит до 1% какого-то неизвестного газа, инертного даже в большей степени, чем сам азот. О своем открытии они сделали сообщение 13 августа 1894 г. Тогда же неизвестный газ за свою инертность и был назван *аргоном*.

Сообщение вызвало бурную, долго не затихавшую дискуссию о том, что же такое аргон — новый элемент, молекула которого одноатомна, или же это, скажем, трехатомный азот — N_3 . Знаменитый парижский химик Марселен Бертло, например, выразил сомнение по поводу инертности аргона и заявил, что ему удалось с помощью тихого электрического разряда заставить его взаимодействовать с парами бензола. Рамзай решил повторить этот эксперимент, но, затратив уйму времени, не получил никаких результатов.

Физики более благосклонно отнеслись к открытию нового элемента, чем химики, которые никак не могли поверить, что в столь тщательно изученном воздухе мог оказаться еще один газ. Несмотря на скептическое отношение коллег к этому замечательному открытию, Рамзай и Рэлей считали дело сделанным и, в общем-то, отошли от дискуссии и дальнейшего изучения аргона. Первый увлекся минералом клевейтом, из которого он вскоре выделил гелий, а второй занялся чисто физическими проблемами, заявив: «Я хочу вернуться обратно от химии к физике. Человек второго сорта, по-видимому, лучше знает свое место»**. Он был явно обижен.

Джон Рэлей и Уильям Рамзай встретились снова только через девять лет, в 1904 г., когда оба они были удостоены Нобе-

*Цит. по кн.: Соединения благородных газов. М., Атомиздат, 1965, с. 20.

**Там же, с. 36.

Джон Рэлей

(1842–1919)

Видный английский физик, лауреат Нобелевской премии, член – корреспондент Петербургской академии наук. В свое время был президентом Лондонского королевского общества и директором Кавендишской лаборатории. Рэлей открыл аргон, вывел закон излучения, установил закон намагничивания.



левской премии. Рамзай получил эту высшую научную награду по разделу химии за открытие и исследование инертных газов, в том числе и аргона, Рэлей – за исследования по физике.

Открытие аргона, как и вообще инертных газов, произошло в переломное для науки время и было теснейшим образом связано не только с успехами пневматической химии, но и с триумфом периодического закона и изучением строения атома. Это было время великих открытий: рентгеновские лучи (1895), радиоактивность (1896), электрон (1897)...

Ученый мир, столкнувшись впервые со столь инертным веществом, как аргон, не мог успокоиться. Вот, например, что писал русский химик С. М. Танатор в 1895 г.:

«Не может быть, чтобы аргон, находящийся в воздухе в столь значительном количестве, не участвовал в химических процессах, происходящих в природе... Несомненно, и он имеет свою роль и свое назначение, но пока мы об этом ничего не знаем... Может быть, при дальнейшем исследовании аргон ока-

жется не таким уж индифферентным и при подходящих условиях проявит свою способность образовывать химические соединения, которые могут представить неожиданный интерес»*.

В самом деле, всего лишь через год было получено первое соединение элемента № 18. Французский исследователь Р. Вийяр, сжимая аргон до 15 МПа при нулевой температуре над частично замороженной водой, получил кристаллогидрат $\text{Ar} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Но это вещество казалось ученым неким химическим монстром, в существование которого вряд ли стоило особенно верить, и они вскоре забыли про него.

Собственно говоря, гидрат аргона – не химическое соединение. Он относится к классу *клатратов*, или *соединений включения*, у которых молекулы одного вещества включены в пространство кристаллической решетки другого вещества. В начале 20-х годов были получены клатраты и других инертных газов, а затем и соединения аргона с тяжелой водой, фенолом, гидрохиноном и некоторыми другими веществами.

Но открытие клатратов аргона не опровергало еще мнения о его инертности, ибо при образовании таких соединений не происходит перераспределения электронов. Именно инертностью и можно объяснить то, что элемент № 18, занимающий среди прочих газов воздуха третье место и по массе (1,286%), и по объему (0,9325%), был обнаружен так поздно.

Известно три стабильных изотопа атмосферного аргона с атомными массами 40, 38 и 36, содержание которых составляет соответственно 99,600%; 0,063% и 0,337%. Преобладание тяжелого изотопа очевидно. Эта любопытная аномалия нашла отражение в периодической системе элементов. В самом деле, атомная масса аргона (39,948) больше, чем у следующего за ним калия (39,102). Причина заключается в том, что Ar образуется в природе при распаде радиоактивного изотопа ^{40}K , содержащегося в земной коре. Поэтому количество тяжелого изотопа аргона в нашей атмосфере непрерывно возрастает, так как он в отличие от гелия и водорода не покидает пределов Земли. Сегодня запасы атмосферного аргона оцениваются в $6,6 \cdot 10^{13}$ тонн.

*Танатор С. Аргон. Одесса, 1895, с. 4.

На измерении соотношения $[^{40}\text{Ar}]:[^{40}\text{K}]$ и $[^{40}\text{Ar}]:[^{36}\text{Ar}]$ в калийсодержащих минералах, таких, как полевой шпат, слюда, глауконит, основаны аргонный и калийаргонный методы определения абсолютного возраста геологических пород. В 1963 г. советский ученый профессор Э. К. Герлинг за разработку калийаргонного способа был удостоен Ленинской премии. Измеренный таким способом возраст Земли оказался равным 5,3 млрд. лет, что вполне согласуется с данными, полученными другими методами.

КРИПТОН И МЕТР

Уильям Рамзай был ревностным последователем Менделеева и считал себя его учеником. Основываясь на закономерностях периодического закона, английский ученый предположил, что между гелием и аргонем должен находиться еще один инертный газ—элемент с атомной массой 20. Рамзай поместил гелий в конце первого периода, а аргон—в конце третьего. Подобные элементы должны были, видимо, замыкать и другие периоды. Таким образом, взяв в «артиллерийскую вилку» неизвестный элемент, Рамзай попытался «поразить» его прямой наводкой. В августе 1897 г. он выступил в Канаде с сообщением на съезде Британского общества содействия наукам. Справедливости ради следует упомянуть, что до этого существование гипотетического элемента с атомной массой 20 предсказывал французский химик П. Э. Лекок де Буабодран, но дальше предположений он не пошел.

Рамзаю не удалось, что называется, с ходу «поразить» цель: тщательные поиски неизвестного газа успехом не увенчались. Где только его не искали: и в минералах, и в природных водах, и в метеоритах. Безрезультатными были и попытки исследования газов различных минеральных источников Англии и Исландии. Эксперименты по разделению гелия и аргона тоже ничего не дали. Но Рамзай не отступал перед трудностями. В 1898 г. он вместе со своим учеником и помощником У. Траверсом снова решил штурмовать обычный атмосферный воз-



Уильям Рамзай
(1852–1916)

Английский химик и физик, лауреат Нобелевской премии, почетный член Петербургской академии наук. Прославился своими работами по исследованию инертных газов. Он выделил гелий, открыл аргон (совместно с Дж. Рэлеем), криптон, ксенон и неон.

дух, применив обходной маневр (да простит читатель автору обилие военных терминов). Исследователи решили тщательно проверить различные фракции сжиженного воздуха.

В конце мая 1898 г. в рамзаевскую лабораторию был доставлен сосуд Дьюара с жидким воздухом, предназначенным для экспериментов. Сначала исследователи хотели отделить легкие фракции. Но по ошибке они отобрали тяжелую фракцию сжиженного воздуха. Считая, что в легких фракциях ничего интересного нет (гелий был уже открыт), Рамзай не спешил с исследованием отобранной фракции, которая была заключена в запаянную стеклянную трубку. Впрочем, об этом более красноречиво рассказывает запись в лабораторном журнале. Лабораторный журнал! Как и корабельный журнал, он может рассказать о многом, и за его, на первый взгляд, сухими строчками скрываются годы разочарований, сомнений, крушения надежд, которые подчас не менее трагичны, чем корабле-

крушения. Но слова этой лаконичной записи излучали неподдельный восторг:

«31 мая. Новый газ, криптон!» Однако после измерения плотности нового газа сразу же стало ясно, что это не тот газ, который так упорно искал Рамзай. Впоследствии Траверс вспоминал: «...В волнении Рамзай принял криптон за ... «неоткрытый газ», забыв, что последний следует искать в наиболее легких фракциях»*. Так «незаконнорожденный» криптон получил право на существование в качестве третьего члена семейства благородных газов.

Содержание криптона в атмосфере составляет около $2 \cdot 10^{10}$ т. Этот элемент с порядковым номером 36 имеет шесть стабильных изотопов с массовыми числами 78, 80, 82, 83, 84, 86. Из них в воздухе больше всего изотопов ^{84}Kr (56,90%) и ^{86}Kr (17,37%). А вот радиоактивных изотопов у криптона — 15! Они имеют различные периоды полураспада и образуются при самопроизвольном делении урана и тория. Однако за все время существования нашей планеты в результате этих процессов могло возникнуть не более 0,2–0,3% всего криптона.

Каково происхождение земного криптона, пока не ясно. Существует по крайней мере две гипотезы, объясняющие присутствие этого газа в нашей атмосфере. Одна из них говорит, что криптон возник в недрах Земли при распаде некоторых, пока не обнаруженных, трансурановых элементов. Согласно другой гипотезе, криптон входил в состав протопланетного вещества и в силу своей относительно тяжелой массы задержался в атмосфере Земли.

О химических свойствах элемента № 36 можно сказать примерно то же, что и о свойствах других инертных газов. Он образует клатраты и химические соединения, правда, только с фтором. Наиболее известен дифторид криптона. Особенности излучения тяжелого изотопа криптона позволили применить его в качестве эталона... метра.

Как известно, до недавнего времени эталоном метра служил платиноиридиевый брусок, хранящийся в Международном бюро мер и весов. Еще в 1793 г. метр был определен как одна де-

*Цит. по кн.: Соловьев Ю. И., Петров Л. П. Вильям Рамзай. М., Наука, 1971, с. 125.

сятиллионная часть длины четверти парижского меридиана. Однако такой эталон не соответствует современным требованиям к точности линейных измерений. Наиболее подходящей в этом отношении представлялась длина волны излучения какого-либо вещества или элемента. После долгих исследований различных спектральных линий в качестве возможных претендентов на роль эталонных были признаны излучения кадмия, криптона и ртути. Однако при тщательном изучении оказалось, что расхождение между теоретически вычисленной и полученной экспериментально шириной линии меньше всего у ^{86}Kr . Вот почему излучение этого изотопа и было выбрано в качестве эталонного. В соответствии с определением, принятым в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам, метр — длина, равная 1650763,73 длины волны излучения (в вакууме), соответствующего переходу между уровнями $2p^{10}$ и $5d^5$ атома криптона-86. Такой метр положен в основу Международной системы единиц (СИ).

В заключение остается добавить, что *криптон* по-гречески означает *тайный, скрытый*. Впервые этот термин применил Рамзай, когда открыл этот газ...

НЕОН ЗНАЧИТ НОВЫЙ

Итак, криптон, можно сказать, был открыт случайно, «внепланово». Рамзай и Траверс, конечно же, исправили свою ошибку и начали исследовать газ легкой фракции воздуха. Поместив его в газоразрядную трубку для спектроскопического анализа, они сразу же наряду с известными спектрами азота, гелия и аргона заметили необычные, ярко-красные и оранжевые линии.

«Когда мы в первый раз рассматривали этот спектр, — вспоминает Рамзай, — рядом находился и мой двенадцатилетний сын.

- Отец, — сказал он, — как называется этот красивый газ?
- Это еще не решено, — ответил я.
- Что, он новый? — полюбопытствовал он.

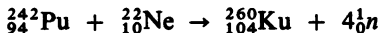
- Новооткрытый, — возразил я.
- Почему бы в таком случае не назвать его «новит», отец?
- Не пойдет, потому, что «новит» не греческое слово, — ответил я.
- Мы назовем его *неоном* — это по-гречески значит *новый*»*.

Так появился четвертый инертный газ — элемент № 10. По своей инертности он приближается к гелию. О валентных соединениях неона говорить рано. Даже его клатраты весьма неустойчивы. Элемент № 10 имеет три стабильных изотопа: ^{20}Ne , ^{21}Ne , ^{22}Ne . Доля каждого из них в атмосфере составляет соответственно 90,92%; 0,257% и 8,82%. Легкий неон, как мы видим, преобладает. Именно на примере неона знаменитый английский физик Дж. Дж. Томсон в 1913 г. доказал, что изотопы существуют не только у радиоактивных элементов, но и у стабильных.

Распространенность изотопов неона в различных космических объектах неодинакова, различно также и соотношение масс $^{20}\text{Ne} : ^{22}\text{Ne}$. Для углистых хондритов — наиболее раннего метеоритного вещества солнечной системы — оно равно 2, для метеоритов — 7, для вещества солнечного ветра — 14. Очевидна закономерность: чем «старше» вещество, тем меньше это соотношение. Изотопы неона образуются в недрах звезд, имеющих весьма значительную массу, температура в которых достигает сотен миллионов градусов.

Третий изотоп, ^{21}Ne , по-видимому, образуется при взрывном горении гелия в гелиевой же атмосфере звезд.

Участие неона в ядерных превращениях подтверждается тем, что с помощью его изотопов удалось синтезировать элемент № 104 — курчатовий:



Надо сказать, что неон входит в шестерку самых распространенных во Вселенной элементов. А вот наша планета неоном бедна. По-видимому, Земля теряет этот элемент, как это происходит с водородом и гелием, хотя убедительных доказательств этому пока нет. Ученые склоняются к тому, что изо-

*Рамзай В. Благородные и радиоактивные газы. Одесса, 1909, с. 24.

топы неона на нашей планете—земного происхождения, хотя источник неона-20 еще точно не определен. Изотопы ^{21}Ne и ^{22}Ne образуются в результате геохимических ядерных превращений. При разрушении горных пород неон поступает в воздух, какая-то часть его выделяется из природных вод. Подсчитано, что в атмосфере содержится $7,1 \cdot 10^{11}$ тонн элемента № 10.

Таков в общих чертах облик неона. Его называют «вечно вторым». Действительно, в семействе благородных газов—он второй по порядку, а по содержанию в земной атмосфере неон—второй из инертных газов после аргона...

«ЧУЖОЙ» СРЕДИ СВОИХ

Упорство, с каким Уильям Рамзай продолжал исследование воздуха, напоминало любопытство ребенка, ломающего игрушку для того, чтобы узнать, что там внутри. «Внутри» уже были открыты четыре неизвестных до этого газа. А дальше? Дальше, после отгонки всех легких фракций и удаления криптона, в сосуде оставался неизменный пузырек, совсем как в опытах у Кавендиша. Маленький пузырек неизвестного газа при спектральном анализе давал красивую гамму голубых полос, доселе неизвестных...

Рамзай и Траверс переработали около 100 (ста!) тонн сжиженного воздуха для того, чтобы установить окончательно наличие нового газа и подробно изучить его свойства. Газ этот оказался пятьдесят четвертым элементом и замкнул пятый период менделеевской таблицы. Исследователи назвали его *ксеноном*, что в переводе с греческого означает *чужой*. Вероятно, такое название было дано потому, что ксенон оказался примесью к криптону. В 1 м^3 воздуха содержится $1,14 \text{ см}^3$ криптона и всего лишь $0,066 \text{ см}^3$ ксенона, т. е. в 13 раз меньше. Соответственно и содержание ксенона в атмосфере оценивается весьма скромной цифрой в $1 \cdot 10^9$ тонн.

Обычный атмосферный ксенон является смесью девяти стабильных изотопов с массовыми числами 124, 126, 128, 129, 130,

Морис Уильям Траверс
(1872–1961)

Английский ученый и изобретатель. Помощник Рамзая в исследовании инертных газов. Благодаря его непосредственному участию были открыты аргон, криптон, ксенон и неон. Траверс сконструировал установку по разделению инертных газов, содержащихся в воздухе.



131, 132, 134 и 136. Из них наиболее распространены ^{129}Xe (26,44%), ^{131}Xe (21,18%) и ^{132}Xe (26,89%). Изотопный состав элемента № 54, выделенного из радиоактивных минералов, несколько иной, так как в этом случае он образуется из продуктов деления урана-235 и урана-238. Впервые это установил советский исследователь В. Г. Хлопин в 1946 г. Среди продуктов спонтанного деления урана зарегистрировано до 19% ксенона. Элемент № 54 имеет и 15 радиоактивных изотопов.

Какими только эпитетами не наделяли инертные газы: благородные, недеятельные, странные и даже безвалентные. До недавнего времени инертность элемента № 54, как и его «братьев», была вне всяких сомнений. Вот что можно было прочитать в одном популярном издании лет двадцать назад: «В химическом отношении ксенон, как и другие инертные газы, совершенно инертен, «благороден», как определили его в начале XX века. Он не реагирует ни с одним веществом или элементом». Да что говорить о популярной литературе, когда в солидной хи-

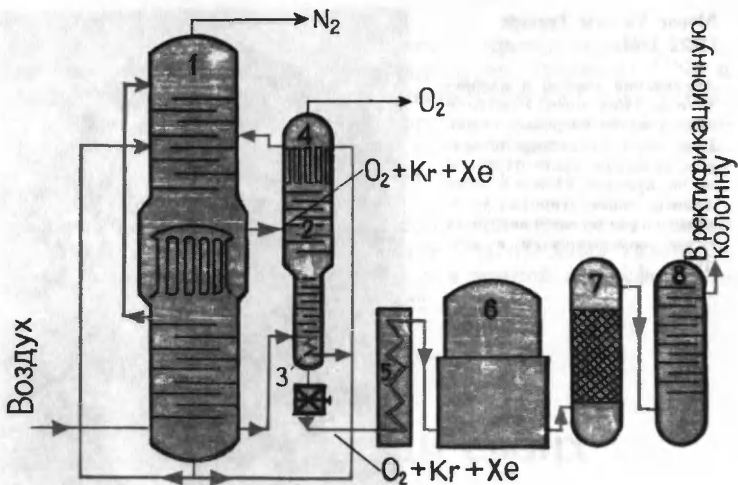


Схема извлечения криптона и ксенона из воздуха:

1 – основной аппарат для разделения воздуха на кислород и азот (он состоит из сочлененных ректификационных колонн: конденсатор нижней колонны служит испарителем верхней); 2 – дополнительная колонна для отделения криптона и ксенона; 3 – испаритель дополнительной колонны; 4 – дефлегматор (конденсатор) дополнительной колонны; 5 – испаритель, в который из колонны 2 поступает кубовая жидкость, обогащенная криптоном и ксеноном; 6 – газгольдер; 7 – контактный аппарат, в котором выжигают углеводороды; 8 – абсорбер для поглощения CO_2 . Из последней ректификационной колонны выходит газовая смесь, содержащая до 75% криптона и ксенона.

мической энциклопедии, изданной в 1963 г., сказано: «Как и другие инертные газы, ксенон не вступает в обычные химические реакции». Мы ни в какой мере не хотим умалить достоинства цитированных источников, просто история с инертностью ксенона напоминает старый английский анекдот об одном молодом человеке, которого с рождения считали немым. Однажды за обедом он вдруг отложил нож и произнес: «Помоему, это мясо недожарено». Родители в радостном удивлении воскликнули: «Почему же ты до сих пор молчал?» «До сих пор все было в порядке», – невозмутимо ответил сын. Вот так

и инертные газы «молчали» более шестидесяти лет. Первым из них «заговорил» ксенон.

Мы недаром цитировали выше издания начала 60-х годов. Именно в это время произошли события, которые считают самыми сенсационными в химии XX века: канадский ученый Н. Бартлетт впервые получил *истинно химические соединения* ксенона.

Чрезвычайную пассивность инертных газов связывали с исключительной устойчивостью внешних восьмиэлектронных оболочек ядер их атомов (у гелия одна двухэлектронная оболочка). «Непробиваемость» таких оболочек, казалось, была доказана богатым практическим опытом целой армии исследователей. Правда, еще в начале 20-х годов высказывались предположения, что в принципе возможно существование фторидов и хлоридов тяжелых инертных газов как термодинамически стабильных соединений. Эти взгляды были развиты выдающимся американским ученым Лайнусом Полингом, который утверждал, что восьмиэлектронная оболочка не всегда обладает минимальной энергией, и предсказал стабильность таких соединений криптона и ксенона, как KrF_4 , H_4XeO_6 и XeF_6 . Воодушевленные теоретическими выкладками Полинга, исследователи пытались получить эти вещества, но, видимо, время для этого еще не пришло. «Последняя такая попытка,— вспоминает американский ученый Д. М. Йост,— была предпринята Кем и мною в 1933 г. ...Кей (тогда только что окончивший университет) и я безуспешно пытались провести реакцию ксенона с фтором и хлором... Мы сами конструировали установку, сами паяли стекло и в качестве источника высокого напряжения применяли выброшенное магнето от автомашины.

С другой стороны, то количество ксенона, которое нам любезно предоставил Аллен, составляло 200 см^3 газа при давлении менее половины атмосферного (ксенон был тогда чрезвычайно редким и дорогим веществом.—*Е. Т.*). Кроме того, мы работали со сконструированным нами генератором фтора. Только мечтатель мог помышлять тогда о покупке этого газа в баллонах под давлением. Технология получения фтора и обращения с ним были тогда крайне примитивными. В то время в стране (в США.—*Е. Т.*) насчитывалось всего несколько человек, активно интересующихся химией фтора (<...>). Кей и



Кристаллический дифторид ксенона

я должны в заключение сказать, что своими опытами мы не доказали, что фторид ксенона не способен существовать»*.

Но вернемся к первому истинно химическому соединению инертных газов — гексафторплатинату ксенона $\text{Xe}(\text{PtF}_6)_2$. Именно это вещество получил Н. Бартлетт летом 1962 г. Вскоре группа американских исследователей из Аргоннской национальной лаборатории не только повторила эксперимент канадского ученого, но и синтезировала соединения криптона с гексафторидами рутения, родия и плутония. Так развеялся миф об инертности благородных газов...

КОНЕЦ НУЛЕВОЙ ГРУППЫ

Последним из благородных газов стал известен *радон*. По времени его открытие совпадает с самым началом нашего века и связано с любопытным явлением, которое было обнаружено французскими исследователями — супругами Марией и Пьером

*Цит. по кн.: Соединения благородных газов. М., Атомиздат, 1965, с. 39.

Кюри. Они заметили, что различные вещества, находящиеся вблизи открытых радиоактивных источников (урана, радия), сами на некоторое время становятся радиоактивными. Английский физик Эрнст Резерфорд, пытаясь объяснить это явление, допустил, что радиоактивные вещества обладают неким радиоактивным же истечением, которое он назвал *эманацией* от латинского *emanatio* — *истекать*. Исследуя это явление, которое, как оказалось, действительно имеет место, Резерфорд, вместе с химиком Ф. Содди, доказал, что эманация представляет собой газообразное вещество, превращающееся в жидкость при обычном давлении и температуре около -62°C . Исследователей восхитило то, что жидкость эта флуоресцировала голубовато-фиолетовым цветом. При температуре -71°C эманация застывала в твердую непрозрачную массу. Впоследствии Резерфорд вспоминал:

«С самого начала Содди и я предположили, что это, должно быть, инертный газ вроде гелия, неона или аргона, так как нам не удалось заставить его соединиться с каким-либо химическим веществом...»*

Так был открыт новый инертный газ.

Вообще-то впервые Резерфорд (вместе с канадским ученым Р. Оуэнсом) наблюдал эманацию у тория, однако дальнейшие исследования он проводил с солями радия и поэтому впоследствии новый газ получил название *эманации радия*. Через некоторое время в 1918 г. это название было заменено на *радон*, от слова *радий*, и вот почему. В то время, когда была открыта эманация, понятия «изотопы» еще не существовало, но радиоактивные истечения наблюдались не только у радия, но и у тория, и у актиния. Как оказалось впоследствии, эманации разных радиоактивных элементов имели различные атомные массы. Но все эти эманации принадлежали одному новому элементу, место которому определили в 86-й клетке периодической таблицы. Это и был радон. С 1900 до 1904 г. были открыты три изотопа радона, которые представляли собой радиоак-

*Цит. по кн.: Популярная библиотека химических элементов. Книга вторая. М., Наука, 1977, с. 306.

тивные газообразные вещества — продукты распада элементов радиевого, ториевого и актиниевого рядов.

Радон-222 — изотоп, образующийся в результате альфа-распада радия-226, был открыт Рамзаем и Содди и независимо от них немецким исследователем Ф. Дорном. Это самый долгоживущий изотоп элемента № 86. Период его полураспада равен 3,8 дня.

Рамзай наиболее полно исследовал радон как химический элемент и, выяснив характерный для него спектр, присвоил ему порядковый номер 86. Правда, первоначально Рамзай дал этому элементу имя *нитон*, что по-латыни означает «светящийся». Вот что он говорил по этому поводу:

«Эманация радия — тяжеловесное название, не дающее никакого указания на положение этого элемента в периодической системе... И для того чтобы указать на его отношение к газам группы аргона, необходимо дать ему сходное с ним имя... название «нитон» казалось бы наиболее подходящим»*. Однако название это не прижилось.

Торон (Tn, ^{220}Rn) — изотоп радона ториевого ряда — был открыт, как мы уже говорили, Резерфордом и Оуэнсом; период его полураспада равен 54,5 с. Третий основной изотоп радона — *актинон* (An, ^{219}Rn) с периодом полураспада 3,92 с — был открыт французским ученым А. Дебьерном, сотрудничавшим с Кюри, и независимо от него немецким исследователем Ф. Гизелем.

Известно 20 изотопов радона с массовыми числами 204 и от 206 до 224. Радон, торон и актинон обнаружены в воздухе, воде и почве. В атмосфере концентрация радона всюду различна для разных мест, так как он выделяется из радиоактивных минералов. Кстати, именно повышенное содержание радона в приземных слоях может указывать на месторождение радиоактивных элементов. Считают, что концентрация радона около поверхности земли составляет в среднем приблизительно один атом на 1 см^3 воздуха. Над океанами, вблизи поверхности воды его концентрация в сотни раз меньше, чем над поверхностью суши.

*Цит. по кн.: *Пермяков В. М. Радиоактивные элементы*. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1963, с. 4.

В нашей атмосфере содержится всего около 500 т радона. Его присутствие прослеживается на высоте до 10 км. Концентрация же торона в 1 см³ воздуха почти в миллион раз меньше, чем радона, и обнаружить этот изотоп удается только над сушей, в приземных слоях атмосферы. Об актиноне и говорить не приходится: в воздухе его содержится еще меньше, чем торона, а распространенность его не изучена.

Как и все инертные газы, молекула радона одноатомна; он образует клатратные соединения с некоторыми веществами. В последнее время удалось получить и истинно химические соединения радона с фтором. Фториды радона были получены сразу же после фторидов ксенона, однако точно определить их формулу пока не удалось.

Конечно, радон – газ необычный, тяжелейший, редчайший, к тому же радиоактивный. Но кто сегодня не слышал о радоне? Особенно о целебных свойствах радоновых ванн? Правда, медики утверждают, что дело не столько в самом радоне, сколько в продуктах его распада, оседающих на поверхности тела. Именно поэтому не рекомендуется после радоновых ванн обтираться полотенцем насухо. Радоновые ванны помогают при лечении многих заболеваний. Однако радон – это и один из весьма опасных радиоактивных «ядов», поэтому принимаются строжайшие меры предосторожности при работе с этим газом.

С открытием элемента № 86 была заполнена последняя пустовавшая клетка периодической таблицы, предназначенная для инертных газов. Как и предполагал Рамзай, их оказалось всего шесть.

Пока только три инертных газа удалось заставить вступить в химические реакции – ксенон, криптон и радон. Перефразируя поэта, можно сказать, что их соединения получают, впрягая в одну телегу коня – инертный газ и трепетную лань – активнейший фтор. Пока только фтор. Но именно благодаря этому химия «бывших» инертных газов открывает широкую перспективу их применения в качестве... сверхмощных окислителей. Таким образом, соединения благородных газов – это не экзотика, а самые обыкновенные вещества.

В 1976 г. большой группе советских ученых была присуждена Государственная премия за синтез и исследование соединений благородных газов.

Открытие соединений инертных газов заставило несколько видоизменить периодическую таблицу. Нулевая группа химических «призраков» аннулирована, а инертным газам (их пока все еще так называют) отведено законное место в VIII группе периодической системы.

ЧТО МОГУТ ТРИ АТОМА КИСЛОРОДА

На вопрос, пахнет ли электричество, голландский ученый Мартин ван Марум вполне мог ответить утвердительно. Именно он в 1785 г. первым отметил, что при опытах с электростатической машиной появляется специфический запах. Спустя 16 лет англичанин У. Круйкшанк обнаружил, что похожий запах появляется при разложении воды, которое он осуществлял с помощью вольтова столба. Но ни тот, ни другой не смогли объяснить происхождение «электрического» запаха. Правда, ван Марум заметил также, что кислород под действием электрической искры лишает блеска ртуть, но причину и этого явления он не нашел. Это сделал Кристиан Шенбейн. В 1840 г. в своем докладе директору Парижской обсерватории Д. Араго он сообщил, что, по его наблюдениям, запах, появляющийся при работе электростатической машины, а также во время грозы и при электролизе воды, принадлежит неизвестному газу, который способен окислять металлы. Этот газ Шенбейн назвал *озоном*, от греческого *ὄζον* — *пахнущий*. Впоследствии он же нашел довольно простой химический метод определения озона по степени посинения бумаги, пропитанной раствором иодистого калия и крахмала.

Открытие озона вызвало большой интерес, особенно среди медиков, которые сразу же попытались применить его в гигиенических целях. Уже в 1857 г. был сконструирован озонатор — аппарат для искусственного получения озона. Надо сказать, что к концу прошлого столетия свойства озона были исследованы довольно подробно. Было доказано, что этот газ — аллотропная модификация кислорода и что молекула его трехатомна и имеет формулу O_3 .

Озон—газ-хамелеон, меняющий свою окраску в зависимости от температуры и давления. В обычных условиях он имеет бледно-фиолетовый цвет, который переходит в синий по мере повышения давления. При температуре $-111,9^{\circ}\text{C}$ озон сгущается в нестойкую жидкость темно-синего цвета, а при $-192,5^{\circ}\text{C}$ затвердевает в темно-фиолетовые, почти черные кристаллы.

Молекула озона весьма непрочна и разлагается на O_2 и O . Атомный кислород весьма активен; он-то и определяет окислительную мощь озона, которая позволяет ему сокрушать любые металлы, кроме золота и платины. В чистом виде O_3 способен взрываться, особенно при малейшем присутствии органических примесей. Озон, благодаря его сильным окислительным свойствам, используют для обеззараживания воды и воздуха.

Спустя 40 лет после открытия озона английский исследователь У. Хартли впервые предположил, что этот газ образуется в верхних слоях атмосферы. Вскоре Хартли открыл полосу поглощения O_3 в области около 255 нм, которая впоследствии была названа его именем. Сейчас уже доказано, что максимум концентрации озона наблюдается на высоте 20–25 км, где он образуется благодаря фотохимическим реакциям под воздействием солнечного излучения.

В приземном слое воздуха содержание озона обычно настолько ничтожно (10^{-7} – $10^{-6}\%$), что мы его не ощущаем, однако во время грозы концентрация его возрастает почти в десять раз. И действительно, после грозы воздух напоен бодрящим запахом свежести, запахом озона.

В тропосфере озон образуется благодаря тихим разрядам атмосферного электричества (вспомним электростатическую машину), возникающим за несколько часов до грозы.

В 1920 г. французским ученым Ш. Фабри и А. Бюиссону впервые удалось определить толщину озонового слоя в атмосфере, которая оказалась равной 0,4–0,6 см (при условиях, приведенных к нормальным: температура -0°C и давление $-0,1$ МПа).

Вскоре было обнаружено, что озоновый слой заметно влияет на погоду. Так озон от физиков и химиков «перешел» к метеорологам. Проблема атмосферного озона оказалась на-

столько важной, что в 1929 году была создана Международная комиссия по озону. У нас в стране регулярные исследования озона ведутся с 1934 года.

Влияние озона на погоду чрезвычайно велико из-за его особенности поглощать определенную долю солнечной радиации. Как показали исследования последних лет, тепловой режим и динамика стратосферы в основном определяются именно количеством содержащегося в ней озона. Изменения толщины озонового слоя влияют и на весенне-летнее нагревание стратосферы, и на стабильность полярных циклонов в верхних слоях атмосферы.

Полная картина распределения озона была получена во время проведения Международного Геофизического года (1957–1958), когда впервые осуществилась идея единой системы глобальных исследований атмосферы.

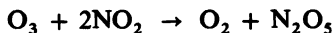
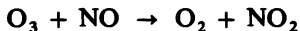
Содержание озона в атмосфере зависит от многих факторов: от интенсивности солнечной радиации, места наблюдения, высоты над землей, от времени года и времени суток. Так, еще в 1874 г. при наблюдении за атмосферным озоном в Египте было обнаружено, что содержание этого газа над пустыней выше, чем в долине Нила. Дж. Рэлей, забросивший химию и занявшийся изучением рассеяния света, в 1918 г. установил, что средняя концентрация озона в атмосфере значительно больше, чем у поверхности земли. Впоследствии выяснилось, что O_3 попадает в нижние слои атмосферы в результате диффузии, благодаря которой годовой перенос его составляет 10^{10} тонн.

Озоновый слой, поглощая определенную долю солнечного излучения, не только влияет на погоду. Как предполагают, он защищает живые организмы от губительного действия коротковолнового ультрафиолетового излучения, которое препятствует процессу деления клеток. Такое действие, вызываемое УФ-лучами с длиной волны 255–265 нм, резко ослаблено у лучей с длиной волны 290 нм. Так вот, озоновый экран как раз и поглощает ультрафиолетовые лучи с длиной волны меньше 290 нм.

Однако значительное увеличение толщины озонового экрана привело бы к полной задержке ультрафиолетовых лучей, которые в умеренных количествах жизненно необходимы. Под их воздействием в нашем организме образуется витамин D, регу-

лирующий обмен кальция. Дефицит этого витамина приводит, в частности, к рахиту у детей.

Но озоновый экран находится под угрозой. Пассажирские суперлайнеры и военные самолеты, поднимаясь порой к самому озоновому слою, выбрасывают в громадных количествах отработанные газы, в том числе и окислы азота NO и NO_2 . Они легко реагируют с озоном, переводя его в кислород:



Разрушающее влияние на стратосферный озоновый экран оказывают и ядерные взрывы. Любопытные цифры по этому поводу приводил несколько лет назад журнал «Химия и жизнь» (1974 г., № 10):

«...В стратосфере 10 частей NO_2 на миллиард ускоряют разложение озона в 10 тысяч раз, а семьсот сверхзвуковых пассажирских самолетов способны увеличить и без того опасную концентрацию окислов азота еще в 10 тысяч раз». И далее: «Во время взрыва только одной водородной бомбы в 1961 г. в стратосферу попало больше NO , чем может создать воздушный флот из 500 лайнеров, летая целый год по семь часов в день».

Не менее серьезные обвинения в разрушении озонового экрана предъявляются удобрениям и бытовым аэрозолям (об аэрозолях речь впереди). С удобрениями, видимо, все ясно: разлагаясь на полях, они выделяют соединения азота, которые, попадая в верхние слои атмосферы, реагируют с озоном. А что же аэрозоли? Мировое производство веществ в аэрозольной упаковке достигло сотен тысяч тонн. Нажимая на кнопку баллончика, мы и не подозреваем, что тем самым способствуем разрушению озонового слоя.

В качестве распылителей в аэрозольных упаковках обычно применяют фторхлоруглеводороды жирного ряда — фреоны. Это вполне инертные и безобидные вещества, не загрязняющие атмосферу. Но, к сожалению, и они активно реагируют с озоном. Специальная комиссия, созданная в США для изучения вредных воздействий на стратосферу, обнаружила следующее. Распыленные в воздухе фреоны в конце концов достигают

верхних слоев атмосферы и подвергаются фотохимическому воздействию, разлагаясь с выделением хлора. Он-то и взаимодействует в стратосфере с озоном. Это обстоятельство настолько обеспокоило комиссию, что она настоятельно рекомендовала правительству США запретить применение фреонов в аэрозольных упаковках.

И все же пока нет окончательных данных о результатах вредного воздействия человека на озоновый экран. Одни исследователи говорят, что количество O_3 за последнее время в атмосфере уменьшилось примерно на 2%, другие утверждают, что оно увеличилось от 2 до 9%. В наше время не только сотни наземных озонометрических станций во всем мире, но и самолеты-лаборатории, аэростаты, шары-зонды и ракеты ведут постоянную «охоту» за озоном. Космонавтика тоже не осталась в стороне. В 1975 г. на советской орбитальной станции «Салют-4» был, например, проведен успешный эксперимент по наблюдению за глобальным распределением озона.

Еще одна угроза нависла над озоновым экраном: воздействие на озоновый слой в военных целях над территорией противника. Вопрос этот был предметом серьезных обсуждений на советско-американской правительственной встрече в июле 1974 г. Тогда же Советский Союз внес на рассмотрение XXIX сессии Генеральной Ассамблеи ООН предложение «О запрещении воздействия на природную среду и климат в военных целях, несовместимых с интересами обеспечения международной безопасности, благосостояния и здоровья людей». Наконец, 18 мая 1977 г. в Женеве была подписана Конвенция о запрещении военного или любого иного враждебного использования средств воздействия на природную среду.

Надо сказать, что озон хорош, в буквальном смысле, только на расстоянии. В приземных слоях атмосферы, да еще в повышенных концентрациях этот газ — сильнейший яд, убивающий все живое. Присутствие O_3 в воздухе даже в ничтожных концентрациях ($4 \cdot 10^{-4}\%$) уже смертельно для мышей; человек при содержании озона около $10^{-5}\%$ испытывает головную боль, раздражение дыхательных путей и глаз.

И еще о здоровье и озоне. Девиз авиации, которому, надо сказать, она следует с честью, — летать выше, дальше, быстрее. Полеты на высоте 12–20 километров — уже обычное дело. На

таких высотах весьма ощутимо присутствие озона. Например, вредные концентрации O_3 наблюдаются весной на высоте всего лишь 12–13 км, а опасные для жизни — выше 21 км. В связи с этим на повестку дня встает вопрос: как предотвратить попадание в кабины самолетов избыточных количеств озона при полетах в стратосфере.

Проблемы озона ждут своего решения...

КАПЛЯ РОСЫ

Значение воды на нашей планете общеизвестно. Наши предки довольно образно, хотя и несколько наивно представляли себе ее круговорот: «Радуга концами пьет воду из рек и озер и поднимает ее на небо для дождя»*. Это сегодня мы знаем, что круговорот воды в природе начинается с испарения, а энергетическую сторону такого процесса обеспечивает Солнце. Итак, вода испаряется с поверхности океанов, морей, озер, рек и вообще с любой открытой поверхности. Солнечная энергия дает возможность за год перевести в пар слой воды толщиной от 1,3 до 2,6 м. Но какова же сущность испарения?

Известно, что большинство атмосферных явлений связано с фазовыми превращениями воды. Ее содержание в воздухе незначительно и едва достигает нескольких процентов. Однако эти ничтожные проценты в буквальном смысле делают погоду. Впрочем, не о погоде у нас пойдет речь...

ПЕРЕФРАЗИРУЯ известное библейское выражение, можно сказать, что «сначала был пар». Кстати, сама библия утверждает это: «...Господь бог не посылал дождя на землю и не было человека для возделывания земли, но пар поднимался с земли и орошал все лицо Земли» (Книга Бытия, гл. II, стих 5–6-й)**.

*Цит. по кн.: Кузаков В. К. Очерки развития естественнонаучных и технических представлений на Руси в X–XVII вв. М., Наука, 1976, с. 147.

**Цит. по кн.: Миддлтон У. История теорий дождя и других форм осадков. Л., Гидрометеониздат, 1969, с. 9.

И все же вплоть до XVII в. даже ученые совершенно не представляли, что такое в действительности водяной пар. Да что говорить о прошлом, ежели и теперь под словом «пар» зачастую понимают не то, что есть на самом деле. Мы говорим о белых клубах пара, не замечая грубейшей ошибки: на самом деле водяной пар невидим, и только мельчайшие капельки сконденсировавшейся влаги выдают его присутствие в воздухе.

Вода обладает сравнительно малой вязкостью, и поэтому ее молекулы чрезвычайно подвижны, а температурный режим приземного слоя атмосферы способствует различным переходам воды из одного агрегатного состояния в другое. Испарение, как известно, и есть один из таких процессов, при котором вода из жидкости превращается в пар.

При обычном давлении чем выше температура, тем большее число молекул приобретает подвижность, тем интенсивнее испарение. Водяной пар в 1,6 раза легче воздуха и в 1250 раз легче воды (при 0°C и нормальном атмосферном давлении). Поэтому, разумеется, пар и поднимается вверх. Опять же, разумеется для нас, для сегодняшних эрудитов, которые могут почерпнуть необходимые сведения о фазовых превращениях воды из многочисленных источников, не говоря уже о школьных учебниках. Но так было далеко не всегда. Долгое время думали, что вода при испарении превращается в ... воздух. И действительно, испаряясь, она ведь исчезала бесследно. Понадобился гений Рене Декарта, чтобы опровергнуть это представление. Уже после его смерти Отто фон Герике в 1656 г. вполне определенно утверждал, что влага может проникать в воздух и затем снова конденсироваться в воду, а воздух в воду превращен быть не может.

Однако в парообразовании оставалось много загадочного, особенно непонятно было, почему пар поднимается вверх. Снова понадобился гений, на этот раз уже Исаака Ньютона, чтобы провозгласить, что пар поднимается вверх потому, что он легче воздуха. Какие азбучные истины приходилось раньше доказывать великим людям! А может быть, эти люди и стали великими потому, что истины, которые они провозглашали, становились потом прописными... И все же ни у Декарта, ни у Ньютона не было единомышленников. Только в XVIII веке

(век пара!) удалось прояснить истинную картину парообразования.

Количество водяного пара, которое может находиться в воздухе, зависит от температуры: чем теплее воздух, тем более он может быть насыщен водяным паром. Так, в 1 м^3 воздуха при температуре -30°C может содержаться $0,3 \text{ г}$ влаги, а при температуре $+30^\circ\text{C}$ — около 30 г , т.е. почти в сто раз больше. При определенной температуре существует предел насыщения воздуха паром, в этом случае воздух называют насыщенным (правильнее было бы назвать его насыщенным паром, но так как он находится в воздухе, то прижилось все же название «насыщенный воздух»).

Воздух, в зависимости от содержания в нем водяного пара, может быть сухим или влажным. Существует не очень сложный прибор для измерения влаги в воздухе. Через трубку, заполненную гигроскопическим веществом (обычно это пемза, смоченная серной кислотой) и тщательно взвешенную, прокачивают строго определенный объем воздуха. Затем прибор взвешивают на точных аналитических весах. Далее находят разницу в его массе до и после взятия пробы и вычисляют количество влаги в г/м^3 . Это и есть *абсолютная влажность воздуха*. Однако такой метод определения влажности довольно громоздок и далеко не всегда применим.

Еще в XVIII в. французский ученый Шарль Леруа считал, что понятия «влажный воздух» и «сухой воздух» относятся не к абсолютному влагосодержанию, а к тому количеству воды, которое может находиться в воздухе при данной температуре, и что сухой воздух в летний день может содержать больше влаги, чем очень влажный воздух зимой. Так в противоположность *влажности абсолютной* возникло понятие *относительной влажности воздуха*, которую выражают в процентах. Значение 100% показывает, что воздух предельно насыщен, а 0% означает, что он совершенно сухой.

Относительную влажность воздуха измерить несложно. Пожалуй, одним из первых «приборов» для определения относительной влажности воздуха был... морской канат. Кто более моряков раньше зависел от погоды? Они и заметили первыми, что пеньковые канаты перед ненастьем набухают, а завязанные некрепко узлы сами собой затягиваются. Все объясняется до-

вольно просто: перед непогодой относительная влажность воздуха обычно возрастает и канаты отсыревают. Впрочем, и на суше достаточно «приборов», сигнализирующих об изменении относительной влажности, ну, хотя бы сосновые шишки: если их чешуйки сомкнуты — это признак хорошей погоды, если они раскрыты — жди дождя. Издавна замечено также, что соль перед дождем отсыревает. И все же оказалось, что лучше всего измерять влажность с помощью обычного человеческого волоса. При повышенной влажности он удлиняется, при пониженной — укорачивается. Швейцарский естествоиспытатель О. Б. Соссюр использовал это свойство волоса. Так во второй половине XVIII в. был сконструирован первый прибор для измерения относительной влажности воздуха, названный *гигрометром*, от греческого слова *hygrós* — *влажный*. Прибор этот был предельно прост. Обезжиренный волос одним концом закреплялся неподвижно, а другим присоединялся к блоку, на ось которого была насажена стрелка, указывающая по шкале влажность.

Волосные гигрометры отошли в прошлое. Относительную влажность воздуха измеряют при помощи *психрометра* (от греческого *psychrós* — *холодный*). Такие приборы обычно можно увидеть в музеях или картинных галереях. Психрометр состоит из двух термометров — «сухого» и «смоченного», шарик которого окутан постоянно увлажняемой тряпочкой. При полном насыщении воздуха водяным паром показания обоих термометров одинаковы, так как при этом не должно быть испарения с поверхности смоченного термометра. При неполном насыщении происходит испарение, сопровождающееся потерей тепла, и смоченный термометр показывает пониженную температуру. По разности показаний сухого и смоченного термометров с помощью специальных таблиц или диаграмм определяют относительную влажность.

Когда воздух насыщен водяными парами и его относительная влажность составляет 100%, происходит конденсация — образование капелек воды. Мы тогда говорим, что выпала роса... Температура, при которой начинается конденсация, так и называется — *точка росы*. Благодаря конденсации испарившаяся вода и возвращается на землю. Если этот процесс происходит у поверхности почвы — образуется роса и туман, если в более высоких слоях атмосферы, то собираются облака.

Почти 90% атмосферной воды сосредоточено в приземном слое высотой около 5 км. Над земной поверхностью содержится в среднем примерно 300 т воды на каждый гектар. Но вся эта масса не спешит низвергнуться на землю. Какой сложный путь проходит микроскопическая капелька атмосферной влаги, чтобы, сконденсировавшись, упасть в виде дождевой капли! Первичная, зародышевая капля претерпевает множество превращений, увеличиваясь порой в триллион (!) раз. До земли долетают только вполне сформировавшиеся, так сказать, достигшие зрелости капли.

Вот как классифицируются капли по размерам (диаметр капель в мм):

Облака	0,005
Туман	0,01
Мгла	0,1
Изморось	0,2
Слабый дождь	0,5
Умеренный дождь	1,0
Сильный дождь	1,5
Проливной дождь	2,1
Ливень	3,0

Человек, узнав, что облака состоят из воды, задался далеко не праздным вопросом: почему они не падают на землю, если вода тяжелее воздуха в 750 раз? Еще менее ста лет назад в книге «Атмосфера» замечательного французского астронома и популяризатора К. Фламариона можно было прочитать про капли тумана и облаков буквально следующее:

«Мнение... о том, что они в большинстве пусты, что вода составляет в них одну лишь тонкую оболочку,—по-видимому, верно. Но, во всяком случае, кроме пузырьков, в тумане встречаются, вероятно, и сплошные шарики»*.

Таким образом, предполагалось, что, подобно мыльным пузырям, облачные пузырьки парят в воздухе. На самом деле все и проще, и сложнее. Капли, из которых образуются облака и туман, целиком состоят из воды и падают, но очень медленно. Им мешает сопротивление воздуха, которое возрастает по

*Фламарион Камилл. Атмосфера. Спб., Изд-во Сойкина, 1910, с. 398.

мере увеличения скорости падения. Скорость падения обычной облачной капли меньше миллиметра в секунду, тогда как дождевая капля проходит за секунду 6 метров. Нетрудно подсчитать, что, падая с высоты в 1 км, облачная капля достигнет земли только через три месяца, а дождевая — через три минуты. Вот, пожалуй, и все о падении капель. Но как они образуются, до конца еще не ясно.

Мы говорили о конденсации и о том, что она происходит при относительной влажности 100%. Но в воздухе, тщательно очищенном от пыли, конденсации не наблюдается и при насыщении в 400%. С того времени, как Отто фон Герике заметил туман вокруг работающего насоса, было принято считать, что конденсация воды происходит сама собой, как только будет достигнута точка росы. Но вот в 1875 г. французский исследователь П. Ж. Кулье сообщил о своих любопытных наблюдениях над процессом конденсации. Он проводил эксперименты в тщательно закупоренном стеклянном сосуде, на дне которого была вода для увлажнения воздуха. Сосуд был связан с полым резиновым шаром и имел поршень, который служил для изменения давления. Резким подъемом поршня можно было добиться конденсации влаги за счет охлаждения воздуха при расширении. Тогда в сосуде можно было наблюдать туман. Но вот что было удивительно: образование тумана при подъеме поршня происходило не всегда. Если сосуд на несколько дней оставляли в покое, или, наоборот, сильно встряхивали, конденсации не наблюдалось. Но когда в сосуд впускали свежий воздух, туман возникал снова. Кулье понял, что в сосуд вместе с воздухом попадает еще что-то, способствующее конденсации. Это была... пыль, так как оказалось, что если воздух в сосуд пропускать через вату, то туман не образуется.

По-видимому, опыты французского исследователя прошли незамеченными, по крайней мере в Англии, где Дж. Айткен в 1881 г. доложил об аналогичных экспериментах и объяснил причины конденсации атмосферной влаги. Для образования из пара капелек воды, утверждал он, необходима частица, на которой и происходит конденсация, подобно тому как нужна затравка для возникновения кристалла. Такие затравки Айткен назвал *ядрами конденсации*. Впоследствии они получили название *ядер Айткена*.

Наглядный пример действенности ядер конденсации представляет собой белый шлейф, тянущийся за самолетами на большой высоте — это капли воды, осевшие на частичках, образующихся при сгорании авиационного топлива.

Роль ядер конденсации могут играть и ионы, и электроны, и протоны, и альфа-частицы. Впервые это удалось установить молодому английскому исследователю Чарлзу Вильсону. Он решил заняться изучением условий образования облаков и начал свои эксперименты с повторения опытов Айткена по искусственной конденсации. «Туманная камера Айткена», в которой проводились эксперименты, была похожа на прибор Кулье и представляла собой вертикальный стеклянный цилиндр с поршнем. На дне цилиндра, под поршнем, была вода, увлажняющая воздух. При резком подъеме поршня происходила конденсация.

Ради любопытства Вильсон решил пропустить через камеру рентгеновские лучи, которые были открыты незадолго до этого (дело происходило в 1896 г.). В камере образовался туман. Значит, лучи способствуют конденсации? С уверенностью Вильсон на этот вопрос ответить не мог. Причину конденсации попытался объяснить знаменитый английский физик Дж. Дж. Томсон, который в свое время вместе с Э. Резерфордом обнаружил ионизирующее действие рентгеновского излучения. Томсон предположил, что причиной конденсации в камере являются ионы. Для подтверждения этой догадки следовало создать электрическое поле, которое должно было сыграть роль «дворника» и очистить камеру от ионов (они должны были «осесть» на соответствующих электродах). Так Вильсон и сделал. Он установил в камере электроды, подсоединив их к электрической батарее, и затем пропустил через камеру рентгеновские лучи. Конденсации не происходило. Это было замечательное открытие. Вильсону тогда было 27 лет... Уже в глубокой старости он вспоминал: «До сих пор я живо помню охватившее меня чувство наслаждения и восторга!» Стало ясно, что невидимое можно увидеть. Это открытие было первым шагом на пути к другому, к которому Вильсон шел долгих пятнадцать лет и которое увековечило его имя.

Ни Томсон, открывший электрон, ни Резерфорд, установивший наличие альфа- и бета-лучей, ни многие другие ученые, за-

ложившие основы современной ядерной физики, не могли видеть элементарные частицы и даже не предполагали, что такое будет возможно в ближайшем будущем. Об этом тогда знал лишь один человек. Это был Вильсон. В 1910 г. он писал:

«Если предположить, что удастся преодолеть трудности фотографирования, то можно будет увидеть след альфа-частицы, который должен включать в себя центральный стержень из капель, образовавшихся на положительно заряженных ионах, и окружающее этот стержень более рассеянное облачко из капель, образовавшихся на отрицательных ионах»*. Через год в «Трудах королевского общества» появляется небольшая статья Вильсона со скромным названием «Метод, позволяющий сделать видимыми траектории ионизирующих частиц в газе». Вот, пожалуй, и вся история. Прибор для наблюдения за ядерными частицами известен как *камера Вильсона*. Замечательное открытие, которое позволило увидеть невидимое, было удостоено Нобелевской премии.

Но вернемся к конденсации. По современным понятиям она представляет собой довольно сложное явление. Свободные молекулы водяного пара, находясь в постоянном движении, сталкиваются с ядрами конденсации и застревают в их микроскопических трещинах и порах, образуя вогнутую пленку. Как удалось установить, на вогнутых поверхностях конденсация происходит гораздо интенсивнее, чем на плоских или выпуклых. Постепенно ядро конденсации обволакивается тончайшей водяной пленкой, и образуется капелька. Но поверхность капли сферическая, поэтому для дальнейшего ее роста необходимо уже пересыщение воздуха влагой, т.е. относительная влажность должна быть больше 100%. Но есть наиболее активные ядра конденсации — мельчайшие частицы солей и кислот, в присутствии которых конденсация может происходить даже в ненасыщенном воздухе.

Любопытно, что вода так прочно схватывается с ядрами конденсации, что с их поверхности ее можно удалить только нагреванием в вакууме до температуры 800 °С. «Забравшаяся» в сверхтонкие капилляры и трещинки вода обладает совершен-

*Цит. по кн.: Беккерман И. М. Невидимое оставляет след. М., Атомиздат, 1970, с. 38.

но необычными свойствами: ее плотность увеличивается чуть ли не вдвое, а вязкость — в 15 раз по сравнению с обычной водой. Такая вода не замерзает даже при температуре -70°C . Эти факты позволяют утверждать, что помимо трех хорошо известных агрегатных состояний воды — жидкого, твердого и пара — существует и четвертое, адсорбированное.

Ядра конденсации в избытке поставляет... море. Взлетающие высоко вверх при шторме морские брызги, испаряясь, отдают свои соли атмосфере. Этот незримый процесс носит истинно циклопический характер. Например, годовой унос с поверхности мирового океана только хлоридов составляет миллиарды тонн, из которых сотни миллионов тонн становятся ядрами конденсации. Присутствие хлоридов обнаружено во всех пробах атмосферных осадков.

Но вот что интересно: процесс образования осадков не есть дальнейшее развитие процесса конденсации влаги. Если конденсация в атмосфере происходит легко, образуются облака. Но осадки выпадают далеко не всегда. Мы часто бываем свидетелями того, что даже хмурые тучи проходят мимо, так и не разразившись ни каплей дождя.

Для того чтобы выпали осадки, необходимы совершенно определенные температурные условия. Дело в том, что сконденсировавшиеся капельки, из которых состоят облака, могут существовать в виде жидкости даже при температуре -10°C до того момента, пока в облаке не появится кристаллик льда. Один единственный такой кристаллик может оказать влияние на миллионы капель, из которых состоят облака, породив цепную реакцию их оледенения. Капли, превратившись в ледяные кристаллы, начинают быстро расти за счет осаждения на их поверхности свободных молекул воды, тяжелеют и падают сквозь переохлажденное облако. Сталкиваясь с другими кристалликами и капельками, они увеличиваются еще больше. Вот так они и попадают на землю в виде снега, снежной крупы или града. Зимой при температуре воздуха ниже нуля снежинки достигают земли; летом они тают и долетают к нам в виде дождя. В горах, особенно осенью, можно наблюдать такую картину: на вершинах падает снег, тогда как ниже, в долине, идет дождь. Вот так соленая морская капля, попадая в атмосферу, возвращается на землю в виде капли пресной.

Если конденсация происходит у самой земной поверхности, то образуется роса и туман. Роса — это дополнительный и часто довольно обильный источник влаги для растений. В некоторых районах, например в Швейцарии, за счет росы почва получает влаги на 10% больше, чем за счет дождей, выпадающих здесь реже, чем роса.

Росу издавна использовали для пополнения запасов пресной воды. В Крыму, в местах древнегреческих поселений, обнаружены кучи щебня, под которыми были проложены дренажные трубы. Эти сооружения, как оказалось, — своеобразные конденсаторы для получения воды из атмосферной влаги. Подобных устройств обнаружено немало. И в наше время жители экзотических островов, не имеющих постоянных источников пресной воды, собирают росу с листьев пальм, обеспечивая себя таким образом питьевой водой.

Итак, человек может довольно просто получить росу, а вот вызвать дождь... Еще наши далекие предки пытались сделать это. Они молились дождю, стреляли в небо из луков, метали копья в облака. Иногда, особенно когда для этого устраивались лесные пожары, вызвать дождь удавалось (теплый воздух поднимался на большую высоту, где имеются условия для интенсивной конденсации). Но уже тогда было ясно, что негоже сжигать леса только для того, чтобы вызвать дождь.

И лишь в конце прошлого века снова попытались вызвать дождь искусственным путем. В Америке решили проверить, действительно ли громкие звуки, особенно грохот артиллерийских орудий, вызывают дождь. Было известно, что и Бородинская битва, и сражение при Ватерлоо окончились дождем... И вот в Техасе, в надежде сгустить тучи, с чисто американским размахом (на всю затею конгресс выделил 9 тыс. долларов), открыли невероятную пальбу динамитными зарядами. Их запускали вверх с помощью воздушных змеев и шаров. Этот весьма внушительный эксперимент ничего не доказал. Но в принципе идея воздействия звуком на облака не лишена смысла. Однако для того, чтобы вызвать дождь, нужны мощные ультразвуковые установки.

Первый искусственный дождь прошел над Голландией в 1930 г., когда с самолета рассеяли сухой лед — твердую двуокись углерода. Однако тогда в этот эксперимент не очень-то

поверили. Через 16 лет американский исследователь В. Шефер все же доказал, что твердая двуокись углерода действительно вызывает дождь, если ее рассеять с самолета над облаками. Вскоре другой американский исследователь, Б. Воннегут, обнаружил, что таким же свойством обладает иодистое серебро. Достаточно сказать, что 1 г этого вещества при распылении способен создать 10^{16} ядер конденсации. Но дорогостоящее иодистое серебро не нашло широкого применения. Вместо него используют иодистый свинец, раствор 1,5-диоксиафталина, метальдегид, твердую двуокись углерода.

И все же искусственный дождь мы можем вызывать далеко не всегда и не везде, хотя воды в атмосфере очень много. Недаром космонавт А. Филипченко, находясь в космосе, сказал: «У нас такое ощущение, что на нашей планете только вода да облака...»

ПЫЛИНКИ ПУТЕШЕСТВУЮТ БЕЗ ВИЗ

Пыль, скажем прямо, — штука не совсем приятная и часто для нас даже вредная. Но не будем спешить с выводами, памятуя о том, что и ядра конденсации, столь необходимые для образования осадков, и лекарства, вдыхаемые при ингаляции, и парфюмерия из аэрозольного баллончика — все это тоже пыль...

Хотим мы этого или нет, но пыль — неотъемлемый компонент атмосферного воздуха. Источников образования пыли великое множество. Это и процессы механического измельчения, и лесные пожары, и песчаные бури, и извержения вулканов, и, наконец, просто поверхность почвы, с которой ежегодно ветер сдувает до 7,5 миллиардов тонн пыли... Наконец, пыль может быть и продуктом человеческой деятельности или результатом определенных химических превращений. Но все это — местные загрязнители, не оказывающие сколько-нибудь значительного влияния на атмосферу в целом. Исключением, пожалуй, являются вулканы, которые пылят «по большому счету». Достаточно сказать, что во время извержений выбрасывается до

20–30 км³ пепла, при этом он зачастую поднимается в стратосферу, на высоту нескольких десятков километров, и разносится на большие расстояния.

Есть и другой солидный источник загрязнения атмосферы пылью: это... космос. Пылинки, образующиеся на поверхности земли, норовят подняться вверх, и только сила тяжести возвращает их обратно. Это наша, «земная» пыль. А есть пылинки-гости, залетающие к нам из необъятных просторов Вселенной. Они составляют пыль космическую. Она попадает к нам, когда Земля периодически проходит сквозь скопления межпланетного вещества. По новейшим данным, на поверхность нашей планеты ежегодно выпадает около 16 000 тонн космической пыли. Цифра внушительная. Если ее помножить на число лет, составляющих возраст Земли, то получится фантастический результат, что-то около $8 \cdot 10^{13}$ тонн, тогда как масса нашей планеты вместе с атмосферой составляет около $6 \cdot 10^{21}$ тонн. Выходит, что больше половины земного вещества состоит из выпавшей космической пыли? Так это или нет, пока сказать трудно, но сам факт наводит на размышления. По крайней мере, В. И. Вернадский еще в начале 30-х годов подчеркивал необходимость изучения космической пыли и придавал исключительное значение ее роли в материальном обмене Земли с окружающей межпланетной средой.

В наше время изучение космической пыли необходимо и в связи с полетами в космос. Специалистов волнует не только природа пылевых образований в верхних слоях атмосферы, но и происхождение серебристых облаков, причины свечения ночного неба, сумеречные явления и другие процессы, так или иначе связанные с присутствием пыли в воздухе.

Мы говорим: «пыль, пыль, пыль». А ведь видим мы ее далеко не всегда. Находясь в помещении, где воздух, как нам кажется, совершенно чистый, мы обнаруживаем его запыленность только тогда, когда солнечный луч высвечивает пляшущие пылинки. Поэтому и все атмосферные явления, о которых шла речь, связывают с определенными оптическими свойствами пылевых образований.

Михаил Васильевич Ломоносов
(1711–1765)



Подобно тому как благодаря сконденсировавшимся капелькам влаги в камере Вильсона становятся заметны элементарные частицы, в специальном приборе — ультрамикроскопе с боковым освещением — можно увидеть пылинки. Частицы пыли представляются наблюдателю в виде светлых точек на темном фоне, яркость которых зависит от их размеров. Впервые такой метод исследования пылинок описал еще М. В. Ломоносов, однако широкой известности тогда, видимо, он не получил, ибо считается, что ультрамикроскоп изобретен в Германии. Интересно, что сейчас для определения запыленности атмосферы применяют лазеры.

Мельчайшие частицы, взвешенные в воздухе, образуют дисперсные системы, называемые *аэрозолями* (от греческого *aer* — воздух и латинского *solutio* — раствор). Пыль, дым, туман — все это аэрозоли. *Дымы* и *пыли* — это системы со взвешенными твердыми частицами, представляющими собой кристаллики, аморфные образования и хлопья, состоящие из более мелких частиц. Туманы — это капельки взвешенной в воздухе жидкости.

Характеристикой размеров аэрозольных частиц обычно считают их радиус. Самыми большими частицами по идее должны быть те, которые быстро оседают под действием силы тяжести, их радиус обычно больше 20 мкм и они встречаются лишь вблизи источников своего образования. Самые мелкие частицы имеют радиус менее 0,1 мкм, они-то и называются ядрами Айткена. Между самыми крупными и самыми мелкими располагаются крупные частицы с радиусом 0,1–1,0 мкм, далее идут гигантские частицы, радиус которых больше одного микрометра. Вот как распределяются по размеру частицы в воздухе (над сушей):

Тип частиц	Ядра Айткена	Крупные	Гигантские
Относительное число, %	90	9,9	0,1
Масса, %	20	31	49

Таким образом, в воздухе преобладают наиболее мелкие аэрозольные частицы. Больше всего загрязнены приземные слои: даже после дождя в 1 см³ воздуха содержится около 30 тысяч пылинок. В сухую погоду их количество возрастает в пять раз.

Мир аэрозольных частиц весьма разнообразен по своему минералогическому и химическому составу и на три четверти состоит из неорганических веществ. Тропосферная пыль представлена, главным образом, частичками кварца и полевого шпата. Это лишний раз говорит о том, что значительную роль в пылеобразовании играет ветровая эрозия почв и грунтов. В воздухе содержатся также мельчайшие кристаллики слюды, хлоритов, доломита, кальцита, различных руд и минералов. А вот, например, сернистый ангидрид, образующийся в больших количествах при извержении вулканов, достигает даже стратосферы. Впрочем, немалая его доля привносится и человеком. Под действием озона SO_2 окисляется в SO_3 , и в присутствии атмосферной влаги в конце концов образуется H_2SO_4 . Однако в стратосфере дожди из серной кислоты не идут: сначала из мельчайших капелек H_2SO_4 образуются ядра Айткена, которые увеличиваются в размерах из-за конденсации на них водяного пара, коагулируют и превращаются в гигантские частицы. Так возникают сульфатные аэрозоли, которые через 2–3 года в результате процессов перемешивания опускаются в тропосферу. Стратосферные аэрозоли, как оказалось, играют важную роль в тепловом балансе нашей планеты. Мы уже говорили о том, как влияет содержание CO_2 на парниковый эффект, и о связанном с этим глобальном потеплении. Так вот, совсем недавно было высказано предположение, что повышение концентрации аэрозолей в нижних слоях атмосферы может уменьшить приток солнечного тепла в тропосферу и снизить тем самым температуру воздуха у земной поверхности.

Есть еще один вид аэрозолей, воздействию которого на окружающую среду уделяется в последнее время большое внимание. Это радиоактивные частицы. Практически во всех земных образованиях обнаружены радиоактивные вещества, которые содержат уран, радий, торий и продукты их распада, правда, в незначительных количествах. Следовательно, и в частичках пыли, образующихся при измельчении горных пород и почвы, а в особенности в вулканическом пепле также содержатся радиоактивные вещества. В пылинках, поднявшихся в воздух, их примерно в два раза меньше, чем в исходных горных породах. Но все же изотопы, содержащиеся в есте-

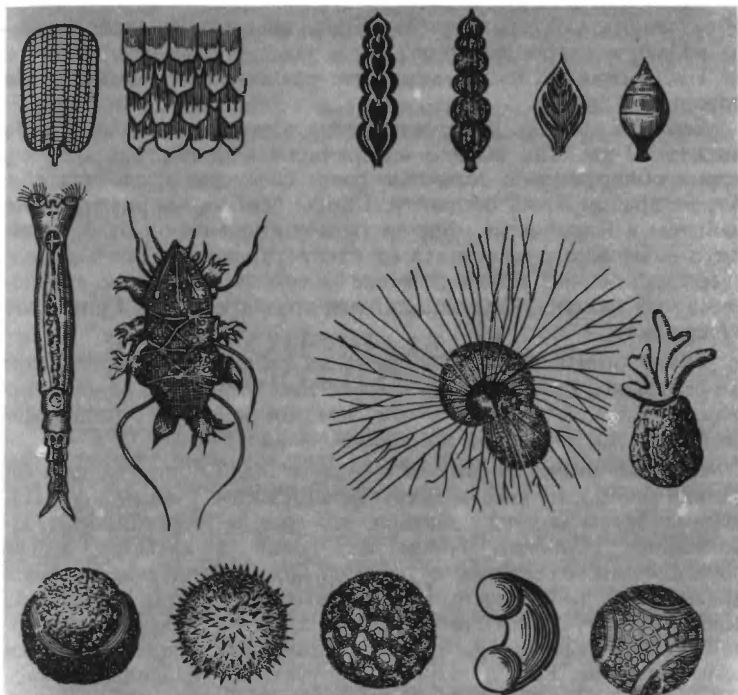
ственных аэрозолях, такие, как ^{210}Pb , ^{212}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po , образуют заметные поля радиоактивности в атмосфере.

Различные радиоактивные изотопы образуются в воздухе и под воздействием космического излучения—это ^{22}Na , ^7Be , ^{32}P , ^{37}Ar , ^{39}Cl и многие другие. Они осаждаются на взвешенных частицах и тем самым увеличивают общий радиоактивный фон. Вероятно, что некоторую долю радиоактивных веществ заносят в атмосферу также и метеориты.

Природные источники радиоактивности дают постоянный, так называемый естественный радиоактивный фон, равный приблизительно $\cdot 177$ миллирентгенам ($4,57 \cdot 10^{-5}$ кулона на килограмм).

В августовские дни 1945 г. человечество узнало о существовании искусственных радиоактивных аэрозолей. Именно тогда были сброшены первые атомные бомбы на японские города Хиросиму и Нагасаки. Доза излучения в 1 км от эпицентра взрыва такой, по сегодняшним понятиям весьма примитивной, бомбы составляла 500 рентген (0,130 Кл/кг). Таким образом, в течение нескольких секунд возникало радиоактивное излучение, в десятки раз превышающее естественную дозу, получаемую человеком за 30 лет. Радиоактивные продукты взрыва, оседая на пылинках, могут разноситься на довольно далекие расстояния и путешествовать в воздухе по нескольку месяцев или даже лет. Образующиеся искусственные радиоактивные аэрозоли особенно опасны тем, что содержат долгоживущие радиоактивные изотопы: тритий, цезий-137, стронций-90. С целью предотвратить пагубное действие ядерного излучения в августе 1963 г. в Москве был подписан Международный договор о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой.

Источником образования органических аэрозольных частиц является и наша кожа. Ее наружный слой, как известно, обновляется приблизительно каждые двадцать дней. Английские ученые из Национального института медицинских исследований решили определить, в какой степени кожа «участвует» в запылении окружающего воздуха. Оказалось, что доля частичек кожного покрова от всего количества пыли составляет 0,4% в жилых помещениях, 1%—в лаборатории, где проводились исследования, и 10%—в метро. В воздухе также взвешены различные чешуйки, перышки, волоски, отмершие частички телец



Чем мы дышим. Тельца, взвешенные в воздухе.

«Для того, чтобы получить понятие о том, из чего состоит носящаяся в воздухе пыль, стоит лишь взглянуть на рисунок... Две первых фигуры, изображенные на рисунке, — чешуйки с крыльев бабочек; четыре следующих — суть фораминиферы. Во втором ряду: две первых — маленькие животные, водящиеся на крышах, — ротифера и тардиграда; две последних — миллиоли, раковинки из строительного камня. В последнем ряду изображены экземпляры пыльцы разных растений, встречающиеся в воздухе преимущественно весной». (Из книги: *К. Фламмаринон*. «Атмосфера»)

насекомых... А сами насекомые, а споры, пыльца растений, различные бактерии и, наконец, вирусы? Все это тоже аэрозольные частицы. Доказано, что бактерии могут служить центрами

образования дождевых капель. Живая взвесь в воздухе получила название «аэропланктона».

Пыль «живая», пыль «мертвая» – разнообразнейший мир аэрозольных частиц...

Верхняя граница распространения аэропланктона лежит на высоте 70 км. Так высоко «забрались» микроорганизмы, которых обнаружили с помощью ракет советские исследователи. Аэропланктон очень подвижен. Споры грибов, например, были найдены в Карибском море за тысячу километров от ближайшего возможного источника их распространения. Все это подтверждает давнее предположение о том, что болезни «разносятся» по воздуху. Еще знаменитый врач древности Гиппократ утверждал:

«Если много людей одновременно заболевают одной и той же болезнью, то причину ее следует искать в том, что является общим для всех людей, и в том, чем они чаще всего пользуются. Значит, речь идет о вдыхаемом воздухе»*.

Впервые микроорганизмы в воздухе были обнаружены в середине прошлого века великим французским ученым Луи Пастером. Затем медики доказали, что многие инфекционные заболевания, особенно туберкулез, грипп и насморк, могут передаваться воздушным путем. Однако виновниками болезней являются не те бактерии, которые входят в состав аэропланктона. В распространении инфекции повинны микробы аэрозолей, выделяемых больными при чихании или кашле. Это аэрозоли-враги, но есть и аэрозоли-друзья. Распыленные лекарственные вещества используют для профилактики заболеваний и для лечения человека и домашних животных.

На Руси издавна верили в «перенос» болезней по воздуху. Царь Алексей Михайлович, например, приказывал, чтобы в «государевых мастерских палатах и на казенном дворе, где государево платие, двери и окна... замазать, чтобы в те места ветер не проходил»**. И в те далекие времена для борьбы с болезнями применяли аэрозоли. Помещения, в которых нахо-

*Цит. по кн.: *Пфейфер Ф.* Погода интересует всех. Л., Гидрометеониздат, 1966, с. 243.

***Кузаков В. К.* Очерки развития естественнонаучных и технических представлений на Руси в X–XVII вв. М., Наука, 1976, с. 293.

дились больные, окуривали дымом, сжигая целебные травы: «в тех выморочных дворах велели избы вытопить мозжеоловыми дровами и положить полыни».

Аэрозоли используют и для борьбы с вредителями сельского хозяйства, и для дезинфекции помещений, и для внесения удобрений.

КОГДА ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ — ПОЛОЖИТЕЛЬНО

Рассказ о воздухе был бы неполным без упоминания об ионах, с присутствием которых связаны когда-то таинственные, да и сегодня не познанные еще до конца явления атмосферного электричества.

Ионы образуются в атмосфере, особенно в верхних слоях, из атомов и молекул газов под воздействием космического и солнечного излучений. В приземном воздухе ионизация происходит в основном благодаря радиоактивным процессам в земной коре. Это первичные или, как их обычно называют, легкие ионы, имеющие размер порядка 0,1 нм. Их подвижность очень велика. Оседая на поверхности аэрозольных частиц, слипаясь друг с другом или адсорбируя на себе молекулы воды, легкие ионы превращаются в тяжелые. Подвижность таких вторичных ионов гораздо меньше, а размеры составляют около 100 нм.

Тяжелые ионы впервые обнаружил французский физик П. Ланжевен, поэтому их иногда называют ионами Ланжевена. Среди вторичных ионов обычно выделяют группу средних ионов с размерами 1–10 нм, природа которых пока точно не установлена. Больше всего тяжелых ионов обнаружено в приземных слоях воздуха, где их концентрация достигает десяти тысяч в одном кубическом сантиметре, тогда как легких — всего лишь около 500. Зато количество легких ионов возрастает по мере удаления от поверхности Земли.

Значительная ионизация воздуха наблюдается на высотах, начиная примерно от 60 и до 400 км. Эта область атмосферы так и называется — *ионосфера*. Здесь с ионами, как сказал поэт, «происходят превращения, перемещенья и вращенья сложней метаморфоз Назона».

Степень ионизации ионосферы зависит от интенсивности солнечного излучения. Известно, что активность нашего светила далеко не постоянна. Периодически на поверхности Солнца происходят мощные выбросы — протуберанцы и хромосферные вспышки. В это время на Землю низвергаются потоки рентгеновских и ультрафиолетовых лучей повышенной активности. Эти-то излучения и вызывают усиленную ионизацию атмосферы.

Хромосферные вспышки порождают еще и солнечный ветер — мощные потоки заряженных частиц — протонов, скорость которых достигает 2000 км/с. Врываясь в атмосферу, они значительно увеличивают ионизацию атмосферных газов.

До недавнего времени считалось, что ниже 60 км ионосферы не существует. Однако в 1965 г. советские ученые обнаружили на высоте между 10 и 40 км область повышенного содержания ионов, максимальная концентрация которых была такой же, как и в приземном слое воздуха. Таким образом выяснилось, что и в стратосфере существует своя, как бы внутренняя, ионосфера. Этот факт выявляет новые аспекты природы атмосферного электричества. Дело в том, что, хотя в атмосфере имеются ионы, заряженные положительно и отрицательно, у поверхности Земли сосредоточены в основном отрицательные ионы, а положительные находятся как раз в стратосфере. Оба этих ионных слоя представляют собой как бы обкладки гигантской лейденской банки, скорее даже многослойного конденсатора. Вообще воздух — хороший изолятор, однако он в какой-то степени все же проводит электричество, поэтому в атмосферном конденсаторе все время течет ток разрядки. Но полной разрядки никогда не происходит. Видимо, и приземный слой отрицательных ионов, и стратосферный слой положительных ионов постоянно получают новые порции зарядов. Так ли это на самом деле, пока не доказано, но факты говорят о том, что солнечные вспышки и извержения вулканов приводят к возрастанию напряженности атмосферного электричества.

Итак, мы находимся в электрическом поле гигантского атмосферного конденсатора, на его отрицательно заряженной обкладке? Если это верно, тогда, возможно, верно и то, что за долгое время эволюции живые организмы приспособились к существованию в условиях преобладания отрицательно заряженных ионов.

Еще около 2400 лет назад знаменитый греческий врач Гиппократ отметил, что свежий воздух благотворно влияет на здоровье человека. Своим пациентам он рекомендовал долгие прогулки по берегу моря и восхождение в горы. Последователи Гиппократа строили особые площадки, где больные могли принимать воздушные ванны. Вероятно, уже в те далекие времена считалось, что в свежем воздухе присутствует некое живительное начало.

Мы знаем, насколько длительным и драматичным был процесс познания природы воздуха. Лишь в конце XIX в., когда постоянство химического состава атмосферы было твердо доказано, стало ясно, что воздуху присущи какие-то особые свойства, которые делают его «живым» или «мертвым». Предположение это основывалось вот на каких наблюдениях. Высоко в горах встречаются гибельные места, где человека охватывает беспричинное на первый взгляд недомогание, порой кончающееся смертью, если не удается быстро выбраться оттуда. У этой болезни любопытная особенность: она возникает только там, где воздух застаивается: в узких горных проходах или лощинах. Это позволило ученым предположить, что причиной такого недуга является повышенное содержание в этих местах положительно заряженных ионов, пагубно влияющих на живой организм.

В 1901 г. немецкий ученый Вильгельм Каспари, решив проверить эту гипотезу, поднялся со своим помощником в горы Монте-Роза на границе Швейцарии и Италии. Там, в лощине Лиссьюх, члены экспедиции испытали на себе действие непонятного недуга: сильную слабость, головокружение, тошноту. И все же отважные исследователи зафиксировали при помощи взятых с собой электроскопов преобладание в этом месте положительных ионов. Обобщив свои наблюдения, Каспари заключил, что не всякий горный воздух, считавшийся чистейшим, пригоден для дыхания. Он высказал интересную мысль: если



**Александр Леонидович
Чижевский**
(1897–1964)

Замечательный советский ученый. Один из основателей космической биологии. Изучал влияние аэроионизации и солнечного излучения на организм, применил математические методы для исследования физических свойств крови. Близкий друг К. Э. Циолковского. Активно пропагандировал его идеи в области космонавтики.

положительные ионы вредно действуют на организм человека, то влияние отрицательных ионов должно быть благотворным. Высказал и забыл...

Лишь через многие годы отрицательными ионами заинтересовался семнадцатилетний юноша Александр Чижевский. Вот что он писал впоследствии в своих воспоминаниях:

«Я... рос хилым и слабонервным ребенком и с детства испытывал на себе влияние внешних метеорологических факторов, причем испытывал в такой степени, что предсказывал перемены погоды, дождь или грозу — за сутки и более до их наступления... Эти мои черты, чаще наблюдающиеся в пожилом возрасте, вынудили меня еще с детства живо интересоваться происхождением их и прилежно изучать естественные науки. Когда же я из детского возраста перешел в юношеский, то уже не мог пересилить себя. Меня непреодолимо влекло к изучению внешних влияний на организм, и поэтому — так по крайней мере мне кажется — я отдал изучению этого всю последующую

жизнь. Я стал исследователем вопросов о «влияниях»*. (Курсив наш.— Е. Т.)

Юноша впоследствии стал выдающимся ученым — основоположником космической медицины. Александра Леонидовича Чижевского называли «Леонардо да Винчи двадцатого века». И в самом деле, круг интересов этого человека был чрезвычайно разнообразен: астрономия, математика, история, биология, живопись, поэзия... В 1939 г. Первый Международный конгресс по биологической физике и космической биологии в Нью-Йорке избрал А. Л. Чижевского вместе с выдающимися французскими учеными Ж. Д'Арсонвалем и П. Ланжевенем одним из своих почетных президентов и выдвинул его кандидатуру на соискание Нобелевской премии.

Так уж вышло, что этой почетной награды Чижевский не получил, впрочем, как и заслуженного признания при жизни. Подобно идеям Леонардо да Винчи, научные направления, которые разрабатывал Чижевский, не нашли в свое время практического применения, несмотря на то, что работы его по достоинству оценивались В. И. Вернадским, К. Э. Циолковским, А. В. Луначарским, Н. А. Морозовым и привлекли внимание Аррениуса. Да, интересы Чижевского были необычны! Он экспериментировал с мышами, исследуя на них влияние ионизации, пытался понять зависимость жизненных процессов от солнечной активности, занимался структурным анализом движущейся по сосудам крови. Проблемы, поднятые Чижевским, сегодня признаны актуальнейшими. Хотелось бы по этому поводу привести слова летчика-космонавта СССР, дважды Героя Советского Союза В. Севастьянова:

«...Труды Чижевского имеют основополагающее значение. Их ценность возрастает еще и оттого, что, как правило, они имеют выход в практику. Труды ученого помогают сегодня в работе и медикам, и ветеринарам, и астрономам, и космонавтам, и биологам, и прогнозистам.

... Чижевский не был так называемым кабинетным ученым, оторванным от насущных жизненных проблем. Это был ученый-

*Чижевский А. Л. Вся жизнь. М., Советская Россия, 1974, с. 42–43.

патриот, ученый-гражданин... Сама специфика научных исканий приводила ученого к глобальным проблемам»*

Уже первые опыты по влиянию отрицательных ионов, поставленные юным Чижевским, показали, что он находится на правильном пути. В декабре 1919 г. молодой ученый докладывал о результатах своей работы на заседании научного общества города Калуги, где он в то время жил. Опыты позволили впервые совершенно точно установить, что действие отрицательных ионов на живой организм благотворно, тогда как действие положительных ионов — неблагоприятно. Свой доклад Чижевский направил на отзыв С. Аррениусу, который также интересовался влиянием атмосферного электричества на живые организмы. Он высоко оценил эксперименты Чижевского, признав его приоритет в этом вопросе.

Механизм биологического воздействия газовых ионов, или *аэроионов*, как их назвал Чижевский, пока окончательно не выяснен, но их влияние на организм, в зависимости от их полярности, — бесспорно. В художественной литературе часто встречаются описания неприятных ощущений и даже болезненного состояния в то время, когда дуют ветры с экзотическими названиями сирокко, фен, ямази, норд-ост. Их действие резко увеличивает концентрацию положительных аэроионов. Вот почему пожилые и больные люди чувствуют перемену погоды за несколько дней: организм улавливает малейшие колебания электрической активности атмосферы.

Дефицит отрицательных ионов, как сейчас предполагают, вызывает быстрое старение организма. И становится понятным, почему так целобен воздух горных курортов и морских побережий: естественная радиоактивность горных пород и мельчайшие брызги морского прибоя способствуют отрицательной ионизации. Вот что открыли древние греки, сами того не подозревая...

В помещениях содержание отрицательных аэроионов незначительно (примерно 100 в 1 см³). Совершенные системы вентиляции и кондиционирования, которыми мы оснащаем свои дома, прекрасно очищают воздух, но заодно лишают его аэроионов. Таким образом, проводя в закрытых помещениях

*Чижевский А. Л. Вся жизнь. М., Советская Россия, 1974, с. 5–6 (Предисловие).

значительную часть своей жизни, мы весьма сокращаем благотворное влияние отрицательных ионов. Не потому ли сейчас резко возросло количество сердечно-сосудистых заболеваний, особенно у людей, ведущих сидячий образ жизни? Конечно, стрессы, волнения, спешка, недостаток движений тоже ослабляют наш организм, но, вероятно, и дефицит отрицательных аэроионов вносит свою лепту.

Интересные исследования были проведены в московском метро. Многие работники метрополитена, в особенности машинисты электропоездов, постоянно жаловались на плохое самочувствие, повышенную утомляемость и головные боли, усиливающиеся к концу рабочего дня. Проверка показала, что основные параметры воздуха тоннелей — содержание кислорода, температура, влажность — были нормальными. Даже количество отрицательных ионов на платформах станций достигало 400 в 1 см³. А вот в кабинах машинистов их не оказалось совсем, но зато там были обнаружены положительные ионы. Те же результаты были получены при обследовании кабин самолетов.

Пути устранения дефицита отрицательных аэроионов указал еще Чижевский, он призывал «к усовершенствованию воздуха внутри жилых и вообще обитаемых помещений путем его вентиляционной очистки и затем искусственного ионизирования в отрицательной полярности и концентрациях, которые имеют место в чистом внегородском воздухе в погожий летний день»*. Искусственную ионизацию Чижевский назвал *аэроионификацией*. В 1960 г. вышла его капитальная монография «Аэроионификация в народном хозяйстве», увенчавшая более чем сорокалетний труд ученого по исследованию влияния газовых ионов на организм.

Особое внимание следует обратить на аэроионификацию воздуха заводских цехов, загрязненного различными вредными примесями. При помощи ионизации можно бороться с нежелательными явлениями статического электричества и осаждать пыль, аэрозольные частицы и даже бактерии. Аэроионизация, проведенная в шахтах, показала, что это эффективное средство, предупреждающее развитие профессиональных заболеваний и в особенности силикоза, а также вдвое сокращающее число за-

*Земля во Вселенной. М., Мысль, 1974, с. 435.

болеваний верхних дыхательных путей. Ионизационными установками следует оснащать не только промышленные предприятия, но и детские учреждения, больницы, санатории, общественные здания.

Большие перспективы сулит аэроионификация в сельском хозяйстве. Аэроионы оказывают благотворное действие на прорастание семян, их всхожесть и урожайность. Применение ионизации на фермах влияет на увеличение продуктивности животных.

И ВОТ ПРИШЕЛ ЧЕЛОВЕК...

Французский писатель Пьер Гаскар с горечью сказал: «Вчера история оставляла нам в наследство развалины; завтра она завещает нам лишь отбросы». Можно оспаривать столь пессимистический взгляд на будущее или соглашаться с ним, но нельзя не признавать того, что загрязнение окружающей среды достигло глобальных размеров.

К середине двадцатого века стало как никогда ясно, что окружающий нас мир чрезвычайно хрупок. Именно незащищенность природы перед усиливающейся человеческой деятельностью породила у некоторых западных ученых крайне пессимистические взгляды на дальнейшие взаимоотношения природы и человека. И опять (уже в который раз!) мнился скорый конец света, и в названиях умных и нужных книг в защиту окружающей среды сквозила иной раз безысходность: «До того, как умрет природа», «Оскальпированная земля», «Замыкающий круг»... Среди множества самых насущных проблем нашего бурного времени проблема окружающей среды — наиболее острая.

Человек осуществляет разнообразнейшие превращения веществ, проводит колоссальные сельскохозяйственные работы, перераспределяет гигантские количества энергии. Под воздействием этих процессов усиливается миграция химических элементов, изменяется лик Земли, изменяется и состав атмосферного воздуха.

Все эти явления не стихийны, как кажется на первый взгляд, а вполне закономерны. И всему причиной жизнь. В 20-х годах В. И. Вернадский увидел в жизненных процессах явление общепланетного масштаба. Он пришел к выводу, что на поверхности Земли важнейшей силой является совокупность живых организмов — биосфера. Этой проблеме выдающийся ученый посвятил три десятилетия своей долгой жизни, заложив основы учения о биогеохимии — геохимии биосферы. Венцом учения Вернадского явились сформулированные им принципы *ноосферы* — сферы разума.

Владимир Иванович писал:

«Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой»*.

Вдумайтесь в эту на первый взгляд весьма спокойную фразу. Не землетрясения, не цунами, не ураганы, а человек — вот «самая сильная сила», преобразующая природу поверхности Земли.

Геохимическую деятельность человечества академик А. Е. Ферсман предложил назвать *техногенезом*. Биосфера, преобразованная техногенезом, и есть ноосфера. И хотя здесь происходят все обычные природные процессы, важнейшая роль в ноосфере принадлежит процессам социальным, деятельности человеческого общества.

Одной из главных функций ноосферы является использование человечеством химических элементов, содержащихся в литосфере, гидросфере, атмосфере. При этом имеются в виду не биологические потребности, а техногенная деятельность.

По выражению американского ученого Э. Диви, «на Земле существует уникальное и почти вездесущее соединение с эмпирической формулой $H_{2960}O_{1480}C_{1480}N_{16}P_{1,8}S$, называемое живым веществом»**, и если сюда еще добавить кремний и кальций, идущие на построение скелетов животных, то окажется, что только восемь химических элементов являются активнейшими в биосфере. А в ноосфере?

*Вернадский В. И. Биосфера. М., Мысль, 1964, с. 356.

**Биосфера. М., Мир, 1972, с. 138.



**Владимир Иванович
Вернадский
(1863–1945)**

Один из самых выдающихся ученых-естествоиспытателей нашего столетия. Основатель геохимии, биогеохимии, радиогеологии. Одним из первых показал исключительную роль организмов в природных круговоротах и геологических процессах. В трудах Вернадского заложены основы решения одной из важнейших проблем – проблемы окружающей среды.

В древности человек умел применять лишь 18 химических элементов, в XVII веке – 25, в XVIII – 29, в XIX веке их число увеличилось до 47, к началу XX века было известно уже 54 элемента, а сегодня их в таблице Менделеева 107 (не считая изотопов). Для того чтобы выделить в чистом виде необходимые элементы, ежегодно добывают 100 млрд. тонн различных горных пород, и эта цифра к концу века может увеличиться в шесть раз. Разумеется, столь гигантские масштабы человеческой деятельности не могут не отразиться на окружающей среде, и прежде всего на атмосфере.

Характерно, что человек не только добывает и концентрирует химические элементы, он их и рассеивает в масштабах поистине невероятных. Не будет большим преувеличением сказать, что сегодня в воздухе можно обнаружить любой из элементов периодической системы, не говоря о самых невероятных химических соединениях, большинство из которых со-

всем не так давно еще не было известно. В 1973 г. группа международных экспертов разных стран и организаций ООН составила перечень наиболее вредных загрязнителей окружающей среды. Вот он:

- 1) сернистый ангидрид,
- 2) взвешенные частицы,
- 3) окись углерода,
- 4) двуокись углерода,
- 5) окислы азота,
- 6) фотохимические окислители и реакционноспособные углеводороды,
- 7) ртуть,
- 8) свинец,
- 9) кадмий,
- 10) хлорированные органические соединения (ДДТ, полихлорированные дифенолы и др.).
- 11) нефть и вещества, диспергирующие нефть в морской среде,
- 12) микротоксины,
- 13) нитраты, нитриты, нитрозамины,
- 14) аммиак,
- 15) отдельные микробные загрязнители.

Почти все они так или иначе попадают в атмосферу. Но вот что интересно: сколько бы ни выбрасывалось загрязнений в воздух, — они там не остаются навсегда, а рано или поздно под воздействием атмосферных процессов попадают либо в почву, либо в океан. Это явление носит название *самоочищения атмосферы*. Кратковременные загрязнители, такие, например, как сернистый ангидрид и ртуть, неустойчивы и легко вымываются атмосферными осадками. Окись углерода, образующаяся при неполном сгорании топлива, хотя и быстро распространяется в воздухе, но, дойдя до озонового слоя, окисляется до CO_2 . В стратосфере происходят фотохимические реакции соединений углерода с окислами азота, причем образующиеся твердые продукты в конце концов осаждаются на землю.

Химические процессы самоочищения происходят и в нижних слоях атмосферы. Под действием ультрафиолетовых лучей в присутствии частичек дыма и сажи CO реагирует с хлором и аммиаком, образуя карбамид и хлористый аммоний. Вымы-

ваясь дождями, они попадают в почву и служат прекрасными удобрениями.

Такой неприятный загрязнитель, как сернистый ангидрид, более 200 млн. тонн которого ежегодно поступает в атмосферу, тоже довольно быстро перерабатывается. Часть его поглощается растениями, часть почвой и океанической водой, часть каталитически окисляется до серного ангидрида на частичках дыма. Благодаря этому SO_2 удаляется из атмосферы всего за несколько часов.

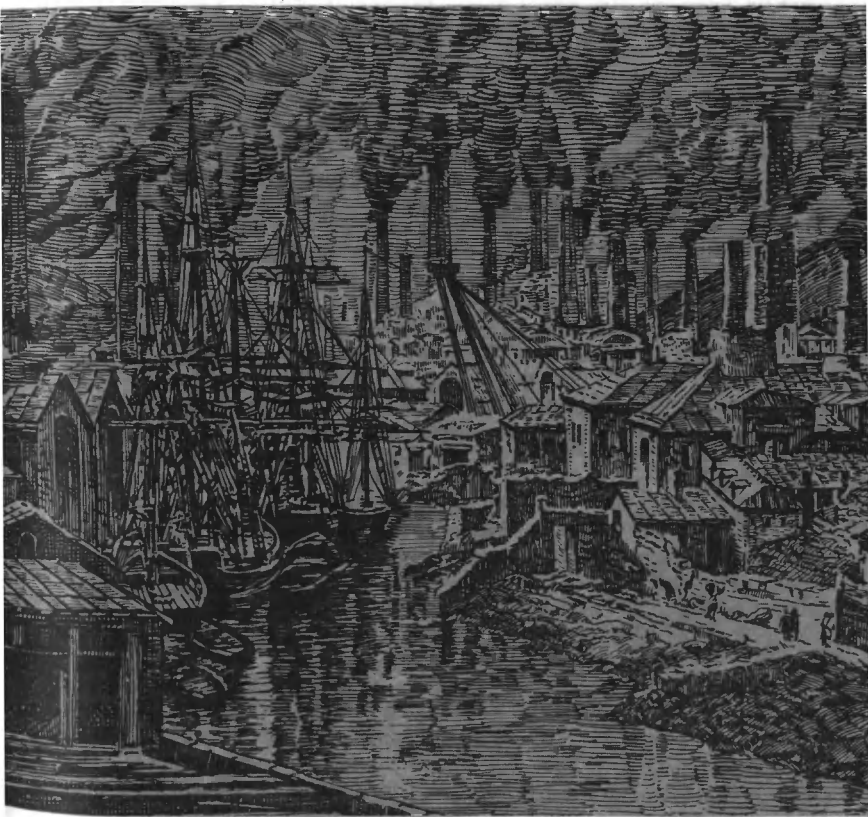
Время пребывания в воздухе твердых частиц также невелико. Пылинки размером более 10 мкм вообще не поднимаются выше нескольких сотен метров и довольно быстро опускаются на землю под действием силы тяжести. Вблизи источника их образования за месяц оседают сотни тонн пыли на одном квадратном километре.

А вот с двуокисью углерода дело обстоит сложнее. Ее причисляют к долговременным загрязнителям. Но и она постепенно удаляется из атмосферы. Значительная часть этого газа поглощается холодными водами полярных морей, используется растениями в процессах фотосинтеза, принимает участие в разложении известняков, доломитов и... бетона, при этом карбонаты превращаются в бикарбонаты, хорошо растворимые в воде.

Природа пока довольно успешно сопротивляется загрязнению атмосферы, однако чистота воздуха промышленных районов и больших городов, где проживает основная часть населения высокоразвитых стран, оставляет желать лучшего. Как сказал поэт:

Вентиляторами дышит город
И котельными огненными.

Загрязнение окружающей среды индустриальных районов началось еще в прошлом веке, когда промышленный переворот в Европе вызвал к жизни небывалый рост городов и всевозможных производств — шерстомойных и кожевенных фабрик, красильен, железнорудных заводов и прочих предприятий, которые своими выбросами стали загрязнять атмосферу и водоемы.



Пейзаж промышленного города (с гравюры XIX в.)

Сегодня, пожалуй, трудно себе представить, чтобы так дымили трубы. Предприятия и котельные оборудуются очистными сооружениями, улавливающими вредные газы и пыль.

В то время еще не было особых санитарных ограничений. Гниющие отбросы, тряпки, щепки, трупы животных плыли по рекам, распространяя отвратительный запах и выделяя продукты разложения. Временами, особенно летом, зловоние, исходившее от рек, становилось настолько нестерпимым, что в Лондоне, например, жители покидали дома, расположенные на берегу Темзы, а парламент прерывал свои заседания...

В начале нашего века английский писатель Арнольд Беннет назвал пейзаж британских городов «архитектурой печей и труб». Общеизвестно пристрастие англичан к каминам. И сейчас еще 90 процентов дыма, который вместе с воздухом вдыхают жители Великобритании, выходит не из заводских труб, а из каминных. Именно к такому выводу пришла недавно специальная комиссия по охране окружающей среды.

В наше время города растут совсем уж невероятными темпами. Наиболее интенсивная урбанизация наблюдается в США, где площадь, занимаемая городами, составляет всего лишь один процент от всей территории страны, а проживает там почти 95 процентов населения. Города, как известно, развиваются в промышленных районах. И если сюда еще добавить интенсивное движение автотранспорта, то станет понятным, почему атмосфера крупных индустриальных городов особенно загрязнена. В США печальный рекорд в этом отношении принадлежит Лос-Анджелесу. Американские шутники утверждают, что его воздух — это видимый воздух. Недаром говорят, что в каждой шутке есть доля правды: по словам американского астронома Юджина Сернана, совершившего полет на Луну, с высоты сорока тысяч километров еще различимы некоторые детали, но на том месте, где находится Лос-Анджелес, он видел только бурое пятно.

Не меньше, а может быть даже больше, загрязнен воздух промышленных городов Японии, в особенности Токио, где ежемесячно на 1 км² площади выпадает до 34 т сажи (против 17 т в Нью-Йорке). Жители Токио зачастую выходят из дома в марлевых повязках или даже в противогазах. Стал уже хрестоматийным рассказ о том, что уличные регулировщики японской столицы периодически вынуждены дышать чистым кислородом в специальных будках. Загрязнение атмосферы привело к тому, что национальную гордость и предмет поклонения

японцев — гору Фудзияму — можно увидеть только в один из семи ясных дней. Да и в США замечено, что из-за загрязнения воздуха продолжительность светового дня сократилась на десять минут.

В некоторых районах Англии загрязненная атмосфера пропускает только треть солнечного света. Здесь обнаружен довольно любопытный факт: божьи коровки приобрели более темную окраску. Оказалось, что этим самым насекомые как нельзя лучше продемонстрировали действие естественного отбора в условиях загрязнения окружающей среды. Особи с более темной окраской интенсивнее поглощали живительную солнечную радиацию и, таким образом, получали известные преимущества, оставляя более жизнестойкое потомство.

Наиболее зловещим порождением атмосферного загрязнения является *смог* — смесь тумана и дыма. Этот термин, ставший уже международным, произошел от слияния английских слов, означающих *дым (smoke)* и *туман (fog)*. Именно смесь дыма и тумана англичане называли *смогом*, первоначально имея в виду атмосферу своей столицы, знаменитой туманами и каминной копотью. Обычно различают два вида *смога*. Один из них образуется от сжигания твердого топлива: угля, торфа или дров; другой — фотохимический — возникает обычно под действием солнечной радиации на продукты выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, в особенности автомобильных. Даже частички резины от автомобильных покрышек участвуют в образовании *смога*.

Именно от *смога* и страдает больше всего живая природа. Однако несмотря на то что во все времена загрязнение атмосферы доставляло много неприятностей человеку, серьезное внимание к этому привлекли лишь катастрофические случаи появления ядовитого *смога*, которые начали отмечаться всего несколько десятилетий назад.

Смог возникает далеко не всегда даже в сильно загрязненном воздухе, для этого должны быть особые условия. И прежде всего, *температурная инверсия*. Это такое состояние приземного слоя воздуха, когда, вопреки обычному, нижние его слои имеют температуру более низкую, чем вышележащие. *Инверсия* препятствует конвективному перемешиванию и при отсутствии ветра, особенно в местах, окруженных горами или

холмами, способствует застаиванию воздуха и интенсивному образованию смога.

Известны многочисленные описания крайне неблагоприятных воздействий загрязненного воздуха на человеческий организм, связанных в основном с температурной инверсией. Одна из первых катастроф такого рода произошла в начале декабря 1930 г. в Бельгии в долине реки Маас, ограниченной крутыми склонами высотой до ста метров. Всю страну окутал густой туман, а в окрестностях городов Юн и Серена, где сосредоточены различные промышленные предприятия, возникла температурная инверсия. На третий день у жителей этого района появились симптомы заболеваний органов дыхания, а шестьдесят человек, в основном старики и легочные больные, погибли.

Осенью 1948 г. аналогичная картина наблюдалась в небольшом американском городе Донора, также расположенном в узкой долине, окруженной высокими холмами. Здесь тоже немало промышленных предприятий...

Поистине трагические события разыгрались в Лондоне в 1952 г., когда особенно сильный смог окутал на несколько дней английскую столицу. Он унес около 4000 человеческих жизней. Надо сказать, что туманы, столь частые на Британских островах, связаны с деятельностью антициклонов и инверсиями температур, которым особенно подвержена долина Темзы. Сильный смог, вызывавший заболевания, был неоднократно отмечен в Англии еще в 80-х годах прошлого века.

По части смога мировое лидерство удерживает все тот же Лос-Анджелес, расположенный на калифорнийском берегу Тихого океана. И этот район окружен горами, и для него характерны антициклоны и температурные инверсии. Дымовых труб в этом городе избыток, автомобилей – тоже. Еще бы! Лос-Анджелесу присвоен неофициальный титул Автомобильной столицы мира. И смог здесь особенный, фотохимический. Солнечные лучи, вызывая различные фотохимические превращения компонентов смога, способствуют образованию сильных окислителей, и в особенности озона. Впервые это явление было обнаружено все в том же Лос-Анджелесе. Лет тридцать назад обратили внимание на то, что провода уличной электросети выходят здесь из строя быстрее, чем в других городах. Виновником этих «диверсий» оказался озон, количество которого,

как выяснилось, резко возрастало во время смога, содержащего в избытке продукты выхлопных газов автомобилей.

В «смоговых» реакциях участвуют и окислы азота; поставщиками которых являются всевозможные топки, печи и бесчисленные двигатели внутреннего сгорания. Этих веществ выбрасывается в атмосферу в сто раз больше, чем их образуется во время гроз. В одном только Лос-Анджелесе от автомобилей поступает в воздух около 500 тонн NO ежедневно, а всего в США попадает в атмосферу за год 65 млн. тонн техногенных окислов азота, что по количеству почти соответствует мировому производству азотных удобрений.

Хотя в механизме «смоговых» реакций далеко не все еще ясно, полагают, что их началом является окисление окиси азота в двуокись, причем если первое соединение малотоксично, то второе — уже ядовито. Окислы азота под действием ультрафиолетовых лучей реагируют и с углеводородами автомобильных выхлопов, образуя в результате разнообразных превращений (в том числе и полимеризации) аэрозольные частицы. Они-то в конечном счете и являются виновниками появления дымки фотохимического смога.

Кстати о дымке, о той самой голубой дымке, которой подернуты в ясный летний день поля и леса. Это тоже фотохимический смог. Он образуется под влиянием солнечных лучей, которые действуют на летучие вещества, выделяемые растениями и деревьями. В лесах, например, это терпены — углеводороды, которые содержатся в смоле хвойных деревьев. Двуокись азота, но уже естественная, атмосферная, взаимодействует с терпенами, образуя озон и полимеризованные аэрозольные частицы. И если городской смог ядовит, то природный — целебен. Благодаря ему воздух хвойных лесов напоен озоном и практически не содержит микробов.

В атмосферу попадают и крайне ядовитые вещества во время различных аварий, особенно на химических предприятиях. Крупнейшая из них произошла в июле 1976 г. в одном из промышленных и густонаселенных районов Италии. На химическом заводе «Икмеза» в поселке Севезо под Миланом в результате поломки двух килограммов диоксида. Казалось бы, выброс такого незначительного количества химического продукта не должен вызвать особого беспокойства. Но это был диоксин —

один из самых сильнодействующих ядов, который американцы использовали во время войны во Вьетнаме наряду с напалмом для уничтожения всего живого в зонах действия партизан.

Вот что писали итальянские газеты о катастрофе в Севезо:

«...Это вещество невидимо, трудно распознаваемо, и о его долговременных последствиях почти ничего не известно. Десятки детей с экземой, язвами и ожогами лица, рук и ног помещены в больницы. Свыше тысячи собак, кошек, кроликов, кур, мышей, ласточек и других животных умерли после долгой агонии. У взрослых отмечались случаи рвоты, желудочных колик и расстройств, респираторных нарушений, приступов аллергии. Вся растительность, включая посевы, оказалась сожженной, как при пожаре.

Многие, впрочем, опасаются, что худшее впереди. В предстоящие месяцы (а то и годы) диоксин может вызвать смертельные заболевания почек и печени. Он способен влиять на развитие плода в чреве матери и привести к рождению уродов. «Икмеза» выбросила в воздух два килограмма этого ядовитого вещества — по расчетам, такого количества достаточно, чтобы убить 100 тысяч человек»*.

Конечно, такие катастрофические случаи отравления атмосферы довольно редки и наносят вред в ограниченных районах. А вот постоянные загрязнители способствуют развитию многочисленных заболеваний, в особенности дыхательных путей.

Не только человеческий организм, но и вся живая природа (и неживая — тоже!) подвержены губительному действию атмосферных загрязнений. Так, только в США общий ущерб, который наносят сельскому хозяйству вредные вещества, содержащиеся в воздухе, составляет ежегодно около 500 млн. долларов. Подсчитано, что в особо загрязненных районах ФРГ из-за неблагоприятного состояния воздуха урожайность сельскохозяйственных культур снизилась на 5%.

Атмосферные загрязнители разрушительно действуют и на различные материалы. Металлы корродируют, краски обесцвечиваются, ткани и кожа становятся ломкими, резина растрескивается и теряет эластичность, разрушается и камень, по крайней мере тот благородный известковый камень, который мы

*За рубежом, 1976, № 34, с. 18.

называем мрамором. Несколько лет назад сотрудники ленинградских музеев с тревогой заметили, как стали шелушиться и осыпаться мраморные статуи знаменитого Петродворца и нагробия Александро-Невской лавры. То же происходит и с бесценными памятниками древности, например с афинским Акрополем, который за последние 25 лет понес от атмосферных загрязнений больший ущерб, чем за 25 веков своего существования. Разрушается и всемирно известный бело-мраморный мавзолей Тадж-Махал в индийском городе Агра. Всею виной серный ангидрид, который в присутствии атмосферной влаги превращается в серную кислоту. Под ее воздействием мрамор переходит в гипс, содержащий, как известно, кристаллизационную влагу. Из-за этого мрамор увеличивается в объеме и начинает вспучиваться и осыпаться.

Разрушается даже гранит! В 1836 г. в Париж из Египта был доставлен гранитный обелиск времен Рамзеса II. И эту каменную громаду разъедает ядовитый воздух... Примеров такого рода можно было бы привести множество.

ВОЗДУХ ПРОТИВ МЕТАЛЛОВ

Ах, как хочется верить, что когда-то братья по разуму посетили нашу Землю. И не только посетили, но и оставили после себя всяческие удивительные сооружения, тайну которых унесли с собой. Именно в этом пытается убедить нас Эрих фон Деникен, выпустивший нашумевшие книгу и фильм под названием «Воспоминания о будущем». Деникен упоминает, в частности, о старинной колонне, находящейся в Дели и состоящей якобы из чистого железа и поэтому совершенно не подвергающейся коррозии. Он приводит этот факт как пример достижений инопланетной металлургии.

Действительно, во дворе делийской мечети Кувват-уль-Ислам стоит железная колонна без явных признаков ржавления. Но в свое время английские металлурги, заинтересовавшись материалом, из которого была сделана эта колонна, установили, что это железо, выплавлявшееся когда-то в примитивных

печах и, вопреки утверждениям Деникена, содержавшее примеси кремния, серы и фосфора. Образцы, вырезанные из тела колонны и привезенные в Лондон, вскоре заржавели...

Секрет необычной стойкости металла колонны к внешним воздействиям, или, как сегодня говорят, к *атмосферной коррозии*, следует искать в другом. Издавна колонна служила местом исполнения своеобразного культового обряда, напоминавшего скорее спортивные состязания. Нужно было взобраться на самый ее верх, а затем соскользнуть вниз, причем для усложнения этого упражнения многие участники раздевались донага и натирали тело маслом. Разумеется, масло размазывалось по колонне и служило прекрасным антикоррозионным покрытием. Вот так не космические пришельцы, а обычные земляне, к тому же не обладавшие особыми научными познаниями, сумели не только создать уникальное металлическое сооружение (высота колонны когда-то достигала 18 метров, а затем на две трети она «ушла» в землю), но и защитить его (правда, невольно) от коррозии.

Слово *коррозия* происходит от латинского *corrodo*, что означает *разгрызть, разъедать*. Еще древние римляне говорили: «ржавчина разъедает железо», и, конечно же, были неправы, ибо ржавчина, как известно, не причина, а следствие коррозии. Впрочем, римляне об этом еще не знали. Явление коррозии известно с тех давних времен, когда был получен первый металл. Еще тогда было замечено, что одни металлы сохраняют свой блеск, другие тускнеют, покрываются налетом и в конце концов разрушаются. И металлы стали делить на благородные, совершенные, не меняющиеся со временем, и неблагородные, несовершенные, подверженные всяческому изменению даже без видимого воздействия. К первым относили золото и отчасти серебро, ко вторым — железо, медь, свинец, олово.

Конечно же, было заманчиво всегда иметь дело с благородным материалом, неменяющимся, вечным. Поэтому еще металлурги и ювелиры древнего Египта пытались превращать неблагородные металлы в золото. О средневековых алхимиках и говорить нечего. Однако их действия носили уже по-своему обоснованный характер. Алхимики считали, что металлы разрушаются потому, что они обладают разным «совершенством», так как состоят из двух начал — «ртути» и «серы».

«Ртуть» – начало металличности, «сера» – начало горючести, сообщаемое металлам способность превращаться в рыхлые, землистые вещества, называемые ржавчиной, землей, окалиной. Чем больше в металле ртутного начала, тем он благороднее, и наоборот. Особенно легко изменялись неблагородные металлы при прокаливании – кальцинации. Вспомним, что именно исследование кальцинации привело Лавуазье к мысли о существовании кислорода, т.е. того начала, которое, соединяясь с металлами, образует ржавчину. После Лавуазье коррозию стали рассматривать как процесс прямого соединения металлов с кислородом воздуха. При этом считалось, что чем легче окисляются металлы, тем они менее благородны. С тех пор появилось множество теорий коррозии, по-своему объясняющих разрушение металлов под воздействием окружающей среды, но и сегодня здесь много неясного.

Атмосферная коррозия – это явление, происходящее при определенных метеорологических условиях в присутствии различных активных газовых и солевых примесей, а также пылевых частиц. Скорость коррозии во многом зависит от степени увлажненности поверхности металла. Так, для железа критическое значение влажности воздуха, при которой начинается интенсивное ржавление, составляет 70%. Однако если атмосфера загрязнена сернистым ангидридом или другими активными примесями, критическая влажность может быть значительно меньшей. Это положение можно опять проиллюстрировать на примере железной колонны в Дели. Климат там считается сухим, так как влажность воздуха редко превышает 70%. Следовательно, в этих условиях ржавление железа замедлено. Долгое время так оно и было. Теперь, когда воздух Дели загрязнен автомобильными выхлопами, коррозия колонны усилилась.

При относительной влажности воздуха выше критической коррозия резко возрастает даже в том случае, когда атмосферные осадки не попадают на поверхность металла. Хотя в настоящее время нет стройной теории атмосферной коррозии, все же этот процесс рассматривают как электрохимический. Электролитом при этом является тончайший слой воды, адсорбированной поверхностью металла из воздуха. Через такую пленку довольно легко происходит доступ кислорода

и других активных агентов коррозии к металлу.

Разные металлы ведут себя в атмосферных условиях по-разному. Про железо известно, что оно не может противостоять коррозии. Медь на воздухе покрывается патиной — тонкой пленкой, защищающей ее от коррозии. Только вблизи источников загрязнения, например химических предприятий, эта пленка неустойчива. Олово противостоит коррозии даже во влажной атмосфере, загрязненной сернистыми соединениями. А вот белая жезь в таких условиях быстро разрушается: коррозия усиливается вследствие электрохимического эффекта, возникающего при наличии пары железо—олово. Цинк и кадмий в атмосферных условиях значительно устойчивее железа и служат для него антикоррозийными покрытиями, однако и они довольно быстро разрушаются в загрязненном воздухе. Алюминий в обычных условиях весьма стоек, но не может противостоять атмосфере промышленных районов. И лишь свинец устойчив практически в любых атмосферных условиях.

Прекрасной коррозионной устойчивостью обладают нержавеющие хромоникелевые стали. Но на то они и нержавеющие! Особо следует отметить металл двадцатого века — титан. Он совершенно не подвержен атмосферной коррозии. Да и не только атмосферной. На титановой пластинке, десять лет (!) пролежавшей в морской воде, не было обнаружено каких-либо следов коррозии. За это и многие другие замечательные свойства титан называют космическим металлом. В 1964 г. в Москве был воздвигнут обелиск в честь покорителей космоса, облицованный листами из полированного титана.

Итак, титан в защите от коррозии не нуждается. А как быть с другими металлами, которые подвержены разрушению в условиях атмосферы, и особенно атмосферы, загрязненной промышленными выбросами или выхлопами двигателей внутреннего сгорания? Почти 80% металлических изделий эксплуатируется на открытом воздухе: мосты, оборудование химических, металлургических, нефтеперерабатывающих заводов и других предприятий. Читатель и сам может продолжить этот перечень. И естественно, что ущерб, наносимый атмосферной коррозией, весьма значителен.

У экономистов потери от коррозии подразделяются на прямые и косвенные. К первым относят все затраты на защиту,

ремонт или восстановление изделий, подвергшихся коррозионному разрушению. Например, на окраску Эйфелевой башни, весящей 7300 тонн, за все время ее существования затрачено средств больше, чем на постройку этого шедевра инженерной мысли XIX века. Косвенные убытки образуются от простоев оборудования, выпуска некондиционной продукции, от различных аварий, происходящих из-за коррозии машин, механизмов и металлоконструкций. По самым скромным подсчетам, в наиболее развитых странах коррозия отнимает около одной десятой их национального дохода. При этом следует учесть, что львиная доля убытков падает на атмосферную коррозию. Но и без этих убедительных примеров ясно, что металлы от коррозии нужно защищать.

Однако во многих случаях при неблагоприятных атмосферных условиях (повышенная влажность воздуха, солнечная радиация, значительный перепад температур) многие защитные покрытия, особенно традиционные лакокрасочные материалы, сами весьма нестойки и подвержены разрушению. В общем, проблема защиты металлов от коррозии весьма сходна с проблемой «снаряд и броня», когда с увеличивающейся пробивной силой снаряда ищутся способы усиления защитных свойств брони. Уже осваивается выплавка новых марок специальных сталей с добавкой фосфора, которые хорошо противостоят атмосферной коррозии, намечается выпуск прокатных изделий с готовыми противокоррозионными покрытиями, разработаны новые виды грунтовок, шпаклевок, эмалей на основе самых современных синтетических материалов. Достаточно сказать, что созданные московскими специалистами лакокрасочные покрытия для защиты железнодорожных мостов в три раза долговечнее обычных масляных окрасок.

Думается, что в скором времени антикоррозионная «броня» станет непробиваемой.

ПРЕДЕЛЫ ДОПУСТИМОГО

Разумеется, в каждом деле бывают издержки. И загрязнение окружающей среды — это тоже своего рода издержка, но издержка особая, связанная со всем многообразием человеческой деятельности. Суть ее в противоречии между темпами научно-

технического прогресса и возможностями сохранения окружающей среды.

По этому поводу академик П. Л. Капица сказал:

«Определяется три основных аспекта глобальной проблемы «человек и природа»: во-первых, технико-экономический, связанный с истощением природных ресурсов земного шара; во-вторых, экологический, связанный с загрязнением окружающей среды и нарушением биологического равновесия в системе человек – живая природа; в-третьих, социально-политический, поскольку эти проблемы необходимо решать усилиями многих, если не всех, стран, усилиями всего человечества»*.

Короче говоря, взаимоотношения человека и природы оказались такими, что они должны регулироваться специальными законодательными актами и не только внутри одного какого-либо государства, но и в международном масштабе.

Проблема защиты окружающей среды, как и проблема ее загрязнения, далеко не нова. До нас дошли документы, из которых видно, что еще в древности в Вавилоне, Египте, Китае, Индии, Киевской Руси предпринимались попытки ограничения вырубki леса, защиты почв от эрозии и подземных водных источников от истощения. Одним из первых юридических актов, направленных против загрязнения атмосферного воздуха, был, пожалуй, принятый английским парламентом в 1273 г. закон, запрещающий использование в Лондоне тощего (битуминозного) угля. Через три десятилетия после введения этого закона один из его нарушителей был даже казнен. Вот ведь с какого времени, оказывается, страдает английская столица от дыма и копоти. Это еще отмечал и Фридрих Энгельс. В 1844 г., характеризуя положение рабочего класса, он писал о том, насколько загрязнена атмосфера промышленных городов Англии по сравнению с сельской местностью. В последующие годы британский парламент неоднократно утверждал различные государственные акты по борьбе с дымом.

И в других странах с развитой по тому времени промышленностью предпринимались шаги, в той или иной мере касавшиеся защиты атмосферы от загрязнения. Так, во Франции

*Нерациональное использование природных ресурсов в капиталистическом мире. М., Знание, 1974, с. 9.

в 1810 г. был принят закон, разделяющий фабрики и заводы на категории и требовавший, в зависимости от этого, определенной их удаленности от центра города. Законы по борьбе с дымом были введены также в Германии в 1869 г., в Австралии в 1902 г.

Первым американским городом, начавшим борьбу с загрязнением атмосферы, был Чикаго. С 1880 г. виновники появления густого дыма штрафовались на сумму до 50 долларов. Однако действенные меры, ограничивающие промышленные выбросы в атмосферу, были приняты в этом городе лишь через восемьдесят лет.

Международному сотрудничеству в деле охраны окружающей среды положила начало конференция, состоявшаяся в Швейцарии в 1913 г. Последовавшие две мировые войны помешали развитию этого полезного начинания. Только в 1948 г. был создан *Международный союз охраны природы*. В связи с научно-технической революцией проблема сохранения и защиты окружающей среды была впервые в 1962 г. рассмотрена и в Организации Объединенных Наций. Через десять лет состоялась Стокгольмская конференция ООН по охране окружающей среды, которая приняла Декларацию и план действий, одобренные Генеральной Ассамблеей ООН. По решению этой конференции 5 июня ежегодно отмечается во всем мире как *День охраны окружающей среды*.

Ярким примером готовности человечества встать на защиту природы была первая всемирная выставка охраны окружающей среды — ЭКСПО-74, состоявшаяся в 1974 г. в небольшом американском городе Спокане, расположенном в северо-западном районе США, известном своей великолепной природой и почти полным отсутствием промышленности. ЭКСПО-74 прошла под девизом: «*За новую, свежую окружающую среду завтрашнего дня!*»

Советский Союз принимает самое активное участие в международном сотрудничестве по охране окружающей среды. У нас в стране охрана природы и атмосферного воздуха предусмотрена Конституцией СССР (статьи 18 и 67). В 1981 г. начал действовать Закон об охране атмосферного воздуха.

Возникает резонный вопрос: какой воздух считать грязным, если абсолютно чистого воздуха в природе не бы-

вает? Следовательно, необходимы какие-то критерии, определяющие степень загрязнения атмосферного воздуха. И, разумеется, эти критерии должны быть объективными, т.е. научно обоснованными. Тогда справедливо задать следующий вопрос: а что принимать за критерий? Советские ученые-гигиенисты на него отвечают так:

предельно допустимую концентрацию химического вещества, т.е. максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при ежедневном воздействии в течение неограниченного времени не вызывает каких-либо болезненных изменений в организме и неблагоприятных наследственных изменений у потомства. В СССР предельно допустимая концентрация (или, сокращенно, ПДК) устанавливается законодательством для каждого вредного вещества.

Таким образом, у нас в стране ПДК является гигиеническим нормативом, который устанавливает максимальное содержание загрязнителя в атмосферном воздухе.

Разработка принципов гигиенического нормирования по предельно допустимым концентрациям была впервые в мире осуществлена в нашей стране в 50-х годах под руководством профессора В. А. Розанова. Сначала ПДК были определены для наиболее распространенных загрязнителей, таких, как пыль, сажа, сернистый газ, сероводород, окись углерода. В настоящее время в Советском Союзе разработано около 800 ПДК для веществ, выбрасываемых в воздушную среду помещений промышленных предприятий, и более 160 — для соединений, поступающих непосредственно в атмосферу. Следует заметить, что и для загрязнителей водоемов также разработаны ПДК. Советские гигиенисты ввели ограничения и для химических веществ, поступающих в почву. У нас в стране разрабатываются и нормы предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ различными предприятиями. Введение этих норм существенно ограничит загрязнение окружающей среды.

Но все же индустрия опережает гигиенистов. Новые химические вещества синтезируются и выпускаются промышленностью, а следовательно, и попадают в окружающую среду, причем быстрее, чем удается оценить степень их токсичности. Ведь для того, чтобы обосновать ПДК того или иного вещества, медикам требуется два-три года. Поэтому в нашей стране

разрабатываются экспресс-методы для определения ПДК в более короткие сроки. Сегодня можно уже за несколько дней определить ориентировочные нормативы предельно допустимых концентраций многих веществ. Такие приблизительные характеристики получили название *ориентировочных безопасных уровней воздействия* (ОБУВ).

На основании ПДК разрабатываются мероприятия по охране атмосферного воздуха от загрязнения: совершенствование технологии, очистка от пыли и газов, рациональная планировка и застройка, организация санитарно-защитных зон, а также санитарный надзор и контроль за чистотой атмосферы.

АВТОМОБИЛЬ: ДРУГ ИЛИ ВРАГ?

Автомобиль
Огрызнулся зловеще
И покатил
По асфальту,
Шурша,
В лица проходим
Бензином
Дыша.

С. Я. Маршак

По единодушному мнению специалистов, автомобиль является одним из главных виновников загрязнения воздуха. В самом деле, мало того, что один автомобильный двигатель потребляет в среднем в 45 раз больше кислорода, чем это необходимо одному человеку, он еще и выбрасывает с выхлопными газами отнюдь не благовонный букет вреднейших веществ. И если учесть, что по дорогам земного шара сегодня бегают круглым счетом 300 миллионов автомобилей, а население нашей планеты составляет более 4 миллиардов человек, то нетрудно подсчитать, что на каждые 13 «душ» приходится один источник загрязнения, и весьма подвижный...

Число автомобилей быстро множится, соответственно ускоряются и темпы загрязнения окружающей среды. «Жестяной проказой» называют сегодня автомобиль, этот, пожалуй, самый удобный вид транспорта нашего времени.

В выхлопных газах автомобиля насчитывают около 200 различных веществ, которые могут быть разделены на группы по характеру их воздействия на организм человека. В первую группу входят такие практически безвредные в обычных условиях вещества, как азот, кислород, водород, водяной пар и двуокись углерода. Ко второй группе относятся окись углерода, содержание которой в выхлопных газах может достигать 12%, особенно у бензиновых двигателей. Третью группу образуют окислы азота. Четвертая, самая многочисленная группа, состоит из углеводородов, представляющих, пожалуй, все гомологические ряды: алканы, алкены, цикланы, ароматические соединения, в том числе и канцерогенные. Пятую группу составляют альдегиды, среди которых до 60% приходится на долю формалина. К шестой группе относят сажу, которая больше характерна для выхлопных газов дизельных двигателей.

Американские специалисты подсчитали, что один автомобиль ежегодно выделяет в среднем 800 кг окиси углерода, 220 кг углеводородов и 40 кг окислов азота. Все это чрезвычайно токсичные вещества. Окись углерода – угарный газ – известна всем. Окислы азота обладают высокой реакционной способностью и поэтому взаимодействуют с тканями дыхательных органов, вызывая патологические изменения, NO еще и нарушает действие центральной нервной системы... Среди углеводородов обнаружено по крайней мере двадцать канцерогенных веществ.

Выхлопные газы автомобилей содержат еще вещества, добавляемые в моторное топливо в качестве различных присадок для улучшения его горения, замедления процессов окисления при транспортировке и хранении, а также для уменьшения коррозии двигателя. И вот, оказалось, что эти присадки, особенно содержащие свинец, не менее вредны для окружающей среды, чем сами выхлопные газы, с которыми они выделяются.

Проблема свинцового отравления стоит особенно остро. А всему виной бесцветная летучая жидкость под названием тетраэтилсвинец (ТЭС), имеющая формулу $(C_2H_5)_4Pb$ и приме-

няемая как антидетонатор. ТЭС вводят в состав горючего в виде так называемой этиловой жидкости в количестве 0,2–0,75 мг/л в зависимости от марки и назначения бензина. Такой бензин называется этилированным. Тетраэтилсвинец очень ядовит. Он летуч и легко проникает через кожу. Предельно допустимая концентрация ТЭС в воздухе всего лишь 0,005 мг/м³.

Тетраэтилсвинец был получен впервые еще в 1853 г. немецким химиком К. Левигом и почти 70 лет оставался экзотическим лабораторным химикатом. В начале 20-х годов американские исследователи обнаружили прекрасные антидетонационные свойства тетраэтилсвинца, и с тех пор не только автомобильные, но и авиационные, и судовые двигатели выбрасывают его в атмосферу во все возрастающих количествах. Надо сказать, что наряду с тетраэтилсвинцом применяют и тетраметилсвинец (ТМС).

Вот небольшая статистика по выхлопам свинца. При сгорании литра бензина в воздух попадает до 400 мг Рb, а в течение года один автомобиль выбрасывает около килограмма этого металла. По данным зарубежных исследователей, городской воздух содержит свинца в 20 раз больше, чем деревенский, и в 2000 раз больше, чем морской. Геохимик из Калифорнийского технологического института К. Патерсон утверждает, что «обитатели Соединенных Штатов в настоящее время подвержены хроническому, жестокому, вредному воздействию свинца, к которому благодушно относились в течение десятилетий»*.

Следует отметить, что в Москве, Ленинграде и ряде других городов СССР применение этилированного бензина запрещено.

От свинцового загрязнения страдают и животные, и растения. У деревьев, растущих по обочинам автодорог, наблюдается преждевременное опадение листьев, а обыкновенные земляные черви, обитающие у автострад, настолько напигованы свинцом, что становятся смертельно ядовитыми для склевывающих их птиц. Правда, растения, концентрируя свинец, тем самым очищают атмосферу, и одно дерево может обезвредить соединения свинца, содержащиеся в 130 кг бензина.

*Цит. по кн.: Бондарев Л. Г. Ландшафты, металлы и человек. М., Мысль, 1976, с. 38.

И все же люди не думают отказываться от автомобиля; они задались целью обезвредить выхлопные газы. У нас в стране этому уделяется самое серьезное внимание.

Еще в 1860 г. немецкий изобретатель Н. Отто выдвинул идею форкамерно-факельного зажигания топлива в двигателях внутреннего сгорания. В 30-е годы эту идею использовали советские ученые, разработав схему такого зажигания. Однако форкамерно-факельное зажигание долгое время не могло конкурировать с электрическим. Применение усовершенствованной системы форкамерного зажигания позволяет вдвое снизить концентрацию окислов азота в выхлопных газах, а содержание канцерогенного бензпирена – более чем в 10 раз; немаловажно, что выброс окиси углерода при этом исключается вовсе.

Специалисты по двигателям внутреннего сгорания предлагают различные приспособления для улучшения системы зажигания автомобиля и уменьшения выбросов вредных веществ. Стоит упомянуть о так называемых дожигателях, или нейтрализаторах. Это устройства с платиновыми или палладиевыми катализаторами, ускоряющими реакции окисления. Первые устанавливаются на дизельных двигателях, вторые – на карбюраторных. Существующие конструкции дожигателей уменьшают вредные выбросы вдвое. Предполагается, что при совершенствовании этих приспособлений степень очистки выхлопных газов увеличивается до 95%.

Взялись и за свинцовые присадки, а вернее, отказываются от них. Уже многие годы у нас в стране под руководством академика А. Н. Несмеянова велись и продолжаются теперь исследования антидетонаторов на основе металлоорганических соединений. В результате создан новый малотоксичный антидетонатор – циклопентадиенилтрикарбонил марганца (ЦТМ). Бензин с такой присадкой ничуть не токсичнее совершенно чистого горючего. Соединения марганца, попадающие в воздух с выхлопными газами, менее опасны, чем вещества, содержащие свинец. При добавке ЦТМ к бензину содержание канцерогенного бензпирена в выхлопных газах снижается на 30%, а при добавке к дизельному топливу – в 10 раз! В качестве новых присадок исследуются различные соединения бария и других элементов второй группы периодической системы, а также ароматические углеводороды: бензол, толуол, ксилол.

Проблема снижения вредности выхлопных газов решается многими путями, и одним из главных является применение новых видов горючего. По дорогам нашей страны уже мчатся автомашины, работающие на сжиженном газе, дающем гораздо меньше вредных выбросов. Конструкторы и изобретатели разных стран разрабатывают двигатели с использованием сжатого воздуха, жидкого азота и... обыкновенного пара. В ФРГ, например, проводятся испытания автомобиля, работающего на метиловом спирте. При этом содержание вредных веществ в выхлопных газах снижается наполовину, а окиси углерода — на 60%. По этому поводу шутят, что скоро вместо бензоколонок появятся спиртоколонки. Шутки шутками, но автомобиль, работающий на... водке, — уже реальность! Французский конструктор Ж. Шамбрэн предложил двигатель, горючим для которого является смесь воды и спирта, причем содержание последнего, как и в водке, составляет 40%. На грузовике, оборудованном таким двигателем, Шамбрэн совершил испытательный пробег в 1500 км.

В последнее время как компонент моторного топлива все большее внимание привлекает обыкновенная вода. Все чаще и чаще из разных уголков земного шара появляются вести о применении в обычных двигателях смесей бензина с водой. Сначала сообщения об успешных опытах такого рода носили сенсационный характер и зачастую расценивались как мистификация. Однако ничего необычного в этом нет, да и сама проблема далеко не нова. Топливо, насыщенное водой, меньше подвержено детонации, снижает тепловую нагрузку на основные детали двигателя и дает значительно меньше вредных продуктов сгорания. Однако все не так просто: самое важное при этом — добиться как можно большей степени распыления воды.

Первые опытные автомобили, горючим для которых служила водно-бензиновая эмульсия, появились несколько лет назад в Ташкенте. И все же сегодня в качестве перспективного топлива рассматривается не водно-бензиновая смесь, не водка, не пар, а водород. У него много преимуществ перед другими видами топлива: большая теплотворная способность, при сгорании он превращается в воду... Но пока водород еще относительно дорог.

Однако кардинальным решением вопроса является переход на новые виды транспорта, такие, как электромобили; гиробусы, движимые энергией маховика; пневмотранспорт, где по трубам при помощи сжатого воздуха перемещаются капсулы (совсем как в метро). Интересно, что строительство нескольких сотен пневмотрасс равнозначно вводу в строй такого автогиганта, как КамАЗ. Но пневмотрассы более выгодны, так как требуют гораздо меньше энергии и обслуживающего персонала, чем эквивалентное количество автомобилей и, разумеется, не загрязняют окружающую среду.

КАК ОБРУБИТЬ «ЛИСИЙ ХВОСТ»

Известный американский метеоролог Баттан заметил:

«...грязный воздух — это цена, которую приходится платить за прогресс»*.

Что ж, с этим в какой-то степени можно согласиться, но только до поры до времени. И если уж подходить с экономическими мерками к чистоте воздушного бассейна, то настоящий прогресс здесь наступит тогда, когда научатся не только очищать, но и утилизировать вредные выбросы.

Чрезвычайно сложно оценить социально-экономический ущерб непосредственно от каждого загрязнителя окружающей среды, но уже сейчас многие специалисты считают, что охрана природы — выгодная сфера приложения общественного труда. Короче говоря, позволим себе несколько перефразировать утверждение Баттана:

Грязный воздух — это цена, которую приходится платить за наше неумение пользоваться благами прогресса.

Еще бы! Сегодня даже при самой совершенной технологии промышленность использует только... 2% исходного сырья, а остальные 98% переводит в отходы, в том числе и такие, ко-

*Баттан Луис Дж. Загрязненное небо. М., Мир, 1967, с. 113.

торые загрязняют окружающую среду. Двухпроцентный к. п. д. использования природных ресурсов — не слишком ли это мало?

Один из инициаторов создания безотходных производств академик И. В. Петрянов-Соколов называет промышленные выбросы безудержным расточительством природных богатств. И правда, сколько их в буквальном смысле вылетает в трубу? Но мы все строим: просто трубы, высокие трубы, сверхвысокие трубы... Несколько лет назад московские газеты обошли фотографии самой высокой дымовой трубы в столице, высота которой составляет 250 м. Увы, думали ли фотокорреспонденты, что они в разных ракурсах отобразили не выдающееся достижение нашего времени, а технику вчерашнего дня? Видимо, в недалеком будущем наши потомки будут взирать на оставшиеся дымовые трубы с такой же снисходительностью, с какой мы сегодня смотрим на пожарную каланчу, стоящую среди высотных домов. Доказано, что далеко не всегда высота трубы спасает от загрязнения, зачастую она лишь увеличивает площадь действия вредных выбросов...

И хотя еще продолжают возводить высокие трубы, сегодня больше уповают на очистные сооружения, позволяющие значительно уменьшать такие вредные производственные выбросы, как пыль, сернистый ангидрид, окислы азота.

Для борьбы с пылью применяют обычно механический и электрический способы очистки газов. Первый основан на использовании центробежной силы и силы тяжести, второй — на осаждении частиц под действием электрических зарядов. Простейший аппарат для очистки газа — циклон. В нем используется центробежная сила, возникающая при входе загрязненного газа по касательной. Пыль отбрасывается центробежной силой к стенкам циклона, происходит одновременная коагуляция частиц, они оседают и выводятся через нижнее отверстие в бункер. Очищенный газ выходит из центральной трубы. В циклонах происходит довольно эффективная очистка газов от частиц размером до 5 мк. Для улавливания более мелких частиц служат фильтры, в которых используются ткани из натуральных и синтетических волокон, а также картон, пористая бумага, пористая керамика, песок и т. д.

Существует и мокрая очистка, при которой в аппаратах пылеулавливания загрязненный газ орошается водой. Здесь

обычно используются скрубберы – емкости, заполненные какой-либо насадкой и орошаемые водой из форсунок. Стекающая вода, загрязненная уловленной пылью, отстаивается и используется повторно. Очищенный газ уходит через верхнюю трубу. Кроме скрубберов есть и другие аппараты для мокрой очистки газов.

Метод электрического осаждения широко применяется при улавливании мелкодисперсных частиц пыли и дыма в электрофильтрах. Здесь частицам, взвешенным в потоке газа, сообщается электрический заряд, после чего они осаждаются на электродах, имеющих противоположный по знаку заряд. Налипшая на электродах пыль удаляется встряхиванием. Для питания электрофильтра используется постоянный ток высокого напряжения.

Теперь «о лисьем хвосте». Так химики прозвали шлейф желто-бурых нитрозных газов – отходов некоторых химических производств, в особенности производства азотной кислоты. Основные составляющие «хвоста» – окислы азота.

Гигантский скачок в индустрии минеральных удобрений, наблюдающийся за последнее время, немислим без наращивания производства азотной кислоты. Но чем больше ее получают, тем больше выбрасывается в атмосферу окислов азота. Так, цех мощностью около 500 тыс. тонн азотной кислоты в год ежесуточно выбрасывает в атмосферу 510 тыс. м³ «хвостовых» нитрозных газов, содержащих от 1,3 до 2,5 тонн окислов азота. И, конечно же, понятно, что задача первостепенной важности – не дать разрастись «лисьим хвостам». Оказалось, что решить ее не просто.

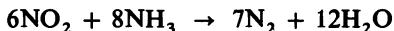
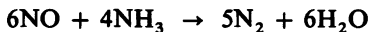
Способов *санитарной очистки газов* от окислов азота много. А санитарной называют очистку потому, что она преследует именно санитарные, а не технологические цели.

Хорошие результаты достигнуты при каталитическом восстановлении окислов азота, причем лучше всего этот процесс идет в присутствии платиновых, родиевых или палладиевых катализаторов. В качестве восстановителя применяют метан, природный газ, аммиак, водород или окись углерода, т.е. те газы, которые используются в производстве аммиака и азотной кислоты или являются промышленными отходами. Вот как могут протекать реакции восстановления окислов азота:

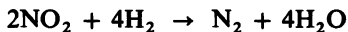
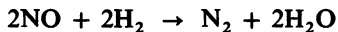
с метаном:



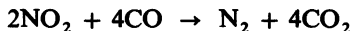
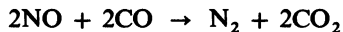
с аммиаком:



с водородом:



с окисью углерода:



Как видно, во всех случаях продуктами восстановления являются азот, вода или двуокись углерода.

У нас в стране первая промышленная установка каталитической очистки была пущена в 1965 г. на Кемеровском азотно-туковом заводе.

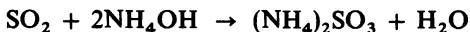
Но каталитическое восстановление окислов азота — метод все же не идеальный. Во-первых, при этом разрушаются и теряются безвозвратно ценные химические продукты. Во-вторых, так как реакции не идут до конца, появляются вредные компоненты: до 0,15% CO, до 0,015% NH₃. В третьих, высока стоимость катализаторов...

Недавно украинские исследователи и проектировщики вместе с производственниками Северодонецкого химического комбината создали принципиально новый способ очистки нитрозных газов, получивший название персульфатного. Суть его в том, что окислы азота поглощаются раствором персульфата аммония в специальных абсорбционных колоннах. После абсорбции образуется смешанный раствор сульфата и нитрата аммония, из которого после выпарки и кристаллизации получают аммонийное удобрение. Вот так из вредных выбросов вырабатывают полезный продукт. Одним из достоинств этого

способа является то, что персульфат аммония получают из сульфата аммония, являющегося отходом производства капро-лактам (мономера, из которого получают капрон). Правда, есть и недостатки: сульфат аммония превращают в персульфат электрохимическим путем, следовательно, на это расходуется электроэнергия.

Существуют и другие способы избавиться от окислов азота. Одни из них уже нашли применение в производстве, другие пока не вышли за пределы лабораторий.

Теперь несколько слов об очистке производственных газов от сернистого ангидрида. Самый радикальный способ — удаление серы из топлива, т. е. из самого источника загрязнения, но пока эта задача решается только на уровне исследований. На практике приходится очищать продукты сгорания топлива от SO_2 . Очистка газов от сернистого ангидрида решается многими путями. При производстве серной кислоты, например, нашел применение метод аммиачной очистки. Таким способом уже несколько лет очищают газы на Щекинском химическом комбинате. Здесь отходящие газы сернокислотного производства обрабатывают аммиачной водой, в результате чего получаются сульфит-бисульфитные соли аммония:



Образующиеся соли концентрируют и перерабатывают в азотные удобрения. Очищенный газ содержит всего до 0,03% сернистого ангидрида и не более 0,001% аммиака.

На современных сернокислотных заводах очистка отходящих газов от SO_2 включена непосредственно в технологическую цепочку и осуществляется каталитическим окислением SO_2 в SO_3 на тех же ванадиевых катализаторах, с помощью которых получают сернистый ангидрид из сырья.

Стоимость очистных сооружений порой оказывается столь высокой, что сводится на нет экономическая эффективность производства. Это противоречие можно устранить, создавая безотходные производства. Правда, в одной дискуссии на эту тему доктор химических наук, профессор С. М. Локтев не без иронии заметил:

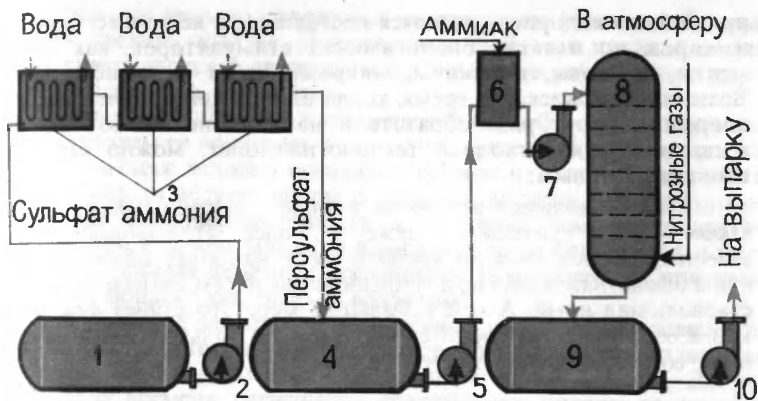


Схема персульфатного способа очистки «хвостовых» нитрозных газов от окислов азота:

1—хранилище сульфата аммония; 2, 5, 7, 10—насосы; 3—электролизеры (вода подается для охлаждения); 4—сборник электролита; 6—смеситель; 8—колонна абсорбции; 9—сборник сливного раствора.

«Безотходное производство кажется мне, если говорить о сегодняшнем дне, чем-то вроде идеальной любви. Она прекрасна, но достижима для немногих... Будем же прославлять идеальную любовь и стремиться к ней. Но вряд ли можно сразу настаивать на идеальной любви для всех...»*

И все же первые шаги в этом направлении уже сделаны. Советскими учеными разработан оригинальный проект использования двуокси углерода отходящих газов тепловых электростанций для выращивания одноклеточной планктонной водоросли—хлореллы, которая прекрасно усваивает этот газ. При внедрении такого «симбиоза» экономическая эффективность ТЭЦ должна увеличиться на треть.

Дело в том, что хлорелла применяется в животноводстве как полезная кормовая добавка. Достаточно сказать, что эта

*Химия и жизнь, 1977, № 4, с. 19.

простейшая водоросль является поставщиком не только белков и жиров, но и таких биологических стимуляторов, как ферменты, гормоны, витамины, микроэлементы и антибиотики. Возможно, недалеко то время, когда блюда, приготовленные из хлореллы, будут разнообразить и наше меню. И хотя путь к полностью безотходной технологии долг, можно сказать словами Энгельса:

«...мы становимся все более и более способными к тому, чтобы уметь учитывать также и более отдаленные естественные последствия по крайней мере наиболее обычных из наших действий в области производства и тем самым господствовать над ними. А чем в большей мере это станет фактом, тем в большей мере люди снова будут не только чувствовать, но и сознавать свое единство с природой...»*

ВОЗДУХ, КОТОРЫЙ МЫ ВЫБИРАЕМ

Прослеживается любопытная тенденция: человек все больше и больше стремится заключить себя в замкнутое пространство. Пожалуй, все началось с первобытных пещер... Большую часть своего времени мы проводим в помещении – дома, на работе; на досуге нас тянет в театр, кино, спортивный зал...

Но этого мало. Современная архитектурная мысль увлечена созданием так называемых контейнерных структур – гигантских крытых сооружений. Поговаривают о заполярных городах под прозрачными колпаками.

Но и этого мало. Человека уже не устраивает поверхность родной планеты и он в буквальном смысле зарывается в землю. В самом деле, посмотрите, как резко увеличилось за последнее время число различных подземных сооружений, не говоря о тоннелях и метрополитене. Под землей строятся комплексы с выставочными залами, ресторанами, магазинами, гаражами, складами. Для подземной архитектуры даже придумали специальный термин – терратектура.

*Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. т. 20, М., Госполитиздат, 1961, с. 496.

Мы все меньше находимся на открытом (хотелось бы сказать, свежем) воздухе. Путешествия наши, как правило, опять же совершаются в замкнутом пространстве автомобиля, парохода, самолета или вагона.

Эта фатальная тяга к отгораживанию себя от внешнего мира (назовем ее «феномен капсулы») в наше время достигла апогея. Сегодня человек осваивает космос и голубой континент. Уже всерьез ведутся споры о том, как должны выглядеть обитаемые космические станции и поселения землян на других планетах. Разрабатываются планы морского фермерства и подводной добычи полезных ископаемых. И, естественно, при этом встает вопрос: как быть с воздухом?

В условиях замкнутого, и особенно герметически замкнутого, пространства (космический корабль, батискаф, подводная лодка) чрезвычайно важен постоянный состав воздуха. До недавнего времени гигиенисты традиционно оценивали пригодность воздушной среды помещений, исходя из содержания в ней двуокиси углерода, ибо она является основным продуктом жизнедеятельности (кроме, разумеется, воды), выделяемым нами при дыхании. И если в состоянии покоя человек выдыхает за час около 12 л CO_2 , то во время интенсивной работы это количество удесятерится. Хорошо, если замкнутое пространство вентилируется. А если нет? Повышенное содержание двуокиси углерода в воздухе вредно действует на дыхательную, сердечно-сосудистую и нервную системы. Особенно чувствителен к малейшему повышению концентрации CO_2 головной мозг. Известно, как тяжело находиться в непроветренном, душном помещении. Пожалуй, об этом лучше всего знают подводники. Вот один из эпизодов времен Великой Отечественной войны, который вспоминает бывший командир знаменитой гвардейской подводной лодки С-56, Герой Советского Союза, ныне вице-адмирал в отставке Г. И. Щедрин:

«И вот звучит команда, на которую решаются лишь в исключительных случаях:

– Выключить систему регенерации!

Это значит, что с каждым нашим вдохом будет уменьшаться содержание кислорода в воздухе и расти концентрация углекислоты примерно на один процент в час. При концентрации углекислоты в 6 процентов человек теряет способность мыс-

лить и сознательно управлять своими движениями, а затем гибнет.

Эта истина известна каждому подводнику...

Все острее ощущается нехватка воздуха. Начинает мучить одышка, свинцом наливается голова. Каждое движение дается с трудом. Наступает апатия. Бросаются в глаза неестественно красные лица людей экипажа. Вот он, коварный и неумолимый враг, — углекислота»*.

Описываемые события произошли в то время, когда немцы обнаружили советскую подлодку и пытались уничтожить ее глубинными бомбами. Надо сказать, что субмарина С-56 за время своих боевых действий потопила десять и повредила четыре корабля противника. На нее в общей сложности было сброшено более трех тысяч глубинных бомб! Восемнадцать раз эту лодку объявляли погибшей. Но люди выстояли, и в этом не последняя роль принадлежала системе регенерации воздуха, позволявшей экипажу поддерживать жизнеспособность в условиях подводного плавания.

Но не только двуокись углерода делает непригодным для дыхания воздух помещения. В герметичной капсуле, где находятся люди, резко увеличивается количество бактерий, а концентрация аммиака и пыли возрастает почти в десять раз! Число обнаруженных вредных продуктов жизнедеятельности (их называют антропоксинами) составляет несколько десятков.

Экспериментально установлено: для того чтобы концентрация токсичных веществ в изолированном помещении не превышала предельной нормы, необходимо ежедневно подавать 120 м³ свежего воздуха на каждого находящегося там человека. Конечно же, ни в подводных лодках, ни в космических кораблях такое проветривание невозможно. Здесь нужна система регенерации...

*Новый мир, 1975, № 6, с. 185–186.

ЧЕМ ДЫШАТ У НЕПТУНА

Простейшей и древнейшей «капсулой» для человека был водолазный колокол, упоминание о котором встречается еще у Аристотеля. Такая капсула уже обладала основными достоинствами современных подводных аппаратов — автономной атмосферой. Правда, это громко сказано, ибо воздуха в колоколе, надевавшемся на голову, водолазу хватало на несколько вдохов. Но важен принцип.

Долгий путь развития водолазного дела привел к изобретению (в середине прошлого века) специального подводного костюма — скафандра, в который с помощью насоса нагнетался воздух. На этом этапе автономность атмосферы была принесена в жертву долговременности пребывания под водой. Вполне автономную атмосферу из сжатого воздуха или кислорода умели создавать на подводных лодках в конце прошлого века. Правда, такие подлодки на первых порах способны были только нырять при встрече с противником и не могли долго оставаться под водой. Зато частые всплытия позволяли без особого труда их вентилировать.

И хотя идея подводного аппарата с замкнутым циклом дыхания и поглощением двуокиси углерода в специальном патроне была предложена еще в 1879 г., практическое применение она нашла только в 1911 г. в гидростате американского инженера Г. Гартмана. Он использовал полностью автономную систему для дыхания, состоящую из кислородных баллонов и химического поглотителя двуокиси углерода. Гартману сразу же удалось побить все рекорды погружения, достигнув фантастической для того времени глубины 458 м. С тех пор система подачи и регенерации воздуха в подводных аппаратах существенно не изменилась, она была проста и надежна.

Завоевание морских глубин происходит не только с помощью подводных капсул. Издавна человек пытался проникнуть в глубины, ныряя вообще безо всяких приспособлений. В этом случае успех зависел только от мощи его легких, а их возможность, даже у самых тренированных ныряльщиков, весьма ограничена. Вода тяжелее воздуха почти в 800 раз, и при погружении человек испытывает дополнительное давление, увеличивающееся с глубиной. Уже на глубине трех метров даже

с помощью трубки, выведенной на поверхность, дышать практически невозможно, так как при этом необходимо преодолеть давление воды на грудную клетку, равное почти двум тоннам. Борьба за глубину для ныряльщика — это прежде всего борьба за продление задержки дыхания. Современные рекордсмены без специальной аппаратуры, снаряженные лишь маской для лучшей видимости, грузом, облегчающим спуск, и ластами, достигают глубины почти в 80 метров. Время пребывания их под водой составляет не более трех минут. Длительность задержки дыхания можно увеличить по крайней мере в три-четыре раза без всяких приспособлений, с помощью специальных дыхательных упражнений, в особенности если дышать при этом чистым кислородом.

Есть такое понятие — *гипервентиляция*; это усиленная вентиляция легких, достигаемая частым и глубоким дыханием. При этом происходит дополнительное насыщение организма кислородом и более полное удаление из него двуокиси углерода. Профессиональные японские ныряльщицы — «ама» — после предварительной гипервентиляции могут оставаться под водой до четырех минут. Если дышать чистым кислородом, гипервентиляционный эффект увеличивается в несколько раз и позволяет задерживать дыхание до 15 минут. Это, видимо, предел...

Как утверждают ученые, эволюция человеческого индивидуума закончилась, поэтому надеяться на совершенствование нашего природного дыхательного аппарата не приходится. Здесь уже требуются искусственные приспособления; при этом необходимо соблюдать важнейшее условие: подавать воздух под давлением, соответствующим давлению воды на той глубине, где находится человек. Такое приспособление в конце концов было создано. В 1943 г. французские моряки Жак-Ив Кусто (впоследствии известнейший исследователь моря) и Э. Ганьян изобрели акваланг. Этот аппарат состоит из баллонов, в которых находится сжатый воздух, и автомата, уравновешивающего давление воздуха с давлением воды. Акваланг позволил человеку нырнуть на глубину 100 м. Ниже была неизвестность...

В конце 40-х годов французские водолазы провели серию погружений для определения максимальных глубин, где еще можно было применить акваланги с воздухом. Однако они закончились трагически: достигнув глубины 120 м, погиб опы-

тный аквалангист М. Фарг. Ценою собственной жизни он открыл завесу неизвестности и переступил роковую грань. Какую же? Что было там, на глубине, превышающей сто метров? Внешне ничего особенного, вода и вода. Но воздух, уравновешивающий столб воды на такой глубине, становился смертельно опасным для человека.

Наш обычный воздух пригоден для дыхания только в определенном интервале давлений. С изменением давления компоненты воздуха становятся смесью «недобрых» газов. И тогда встает проблема подбора таких газовых смесей, которые при любом давлении не вредили бы нашему организму. Вспомним закон Дальтона, утверждающий, что давление смеси газов, химически не взаимодействующих друг с другом, равно сумме их парциальных давлений. Так вот, при изменении общего давления смеси (обратная задача) парциальное давление каждого входящего в нее газа тоже изменится. Искусство составления дыхательных смесей в том и состоит, чтобы подобрать такие газы, которые при определенном парциальном давлении были бы безвредными.

Вот как ведут себя при изменении давления основные компоненты воздушной смеси — кислород и азот. Если парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе ниже 1540 Па (что соответствует 16% его содержания при нормальном давлении), наступает кислородное голодание. Оно характеризуется внезапной потерей сознания и поэтому особенно опасно под водой. Но и высокое парциальное давление кислорода очень вредно. Даже у совершенно здоровых людей, дыщащих чистым кислородом при нормальном давлении, через несколько суток начинается отек легких и тяжелое кислородное отравление. Таким образом, с увеличением глубины погружения необходимо снижать парциальное давление кислорода и, следовательно, его содержание в дыхательной смеси. Например, на глубине 100 м оно должно составлять всего лишь 2–6% от общего давления. Остальная часть должна приходиться на долю инертного газа, не оказывающего вредного действия на организм. В обычном воздухе, при обычном давлении — это азот. Но в условиях повышенного давления, при погружении на глубину примерно полсотни метров азот начинает оказывать наркотическое действие. Это явление изучено недостаточно, и некоторые исследователи

отрицают существование азотного наркоза, приписывая глубокое опьянение совместному действию кислорода и двуокиси углерода, которые усиленно растворяются в крови под повышенным давлением.

Вообще-то говоря, у водолазов были давнишние счеты с азотом, который повинен в *кессонной болезни*, возникающей при быстром подъеме с глубины. Впервые ее симптомы наблюдались у работавших долгое время в подводных кессонах в условиях повышенного давления воздуха. У людей, быстро вышедших из кессонов на поверхность, появлялось головокружение и ломота в суставах. В тяжелых случаях кессонная болезнь может привести к параличу или даже к смерти.

При быстром подъеме с глубины происходит резкое уменьшение давления и растворенный в крови и тканях организма азот выделяется в виде пузырьков. Происходит такое же вспенивание, как и при откупоривании шампанского или бутылки с газированной водой. Кессонная болезнь заключается в том, что газовые пузырьки закупоривают кровеносные сосуды, нарушая нормальный ток крови. У медиков это явление носит название *газовой эмболии*. Именно поэтому перед тем, как сделать укол, всегда поднимают шприц вверх иглой и выпускают из него часть жидкости, чтобы удалить воздушный пузырек. Тем самым предотвращается возможность попадания воздуха в сосуды.

Кессонную болезнь предупреждают очень просто: водолаза поднимают медленно. Чем больше глубина, тем длительнее должен быть подъем, во время которого происходит декомпрессия — переход к нормальному давлению. Скорость подъема считается безопасной, если водолаз не испытывает характерных болезненных симптомов. Период декомпрессии определяется по специально разработанным таблицам в зависимости от глубины погружения.

Действие азота на организм изучено еще не до конца. Оказывается, что в биологическом отношении этот газ не так уж и инертен. Гибель аквалангиста Фарга как раз и показала, что естественный воздух — не самая лучшая газовая смесь для дыхания под водой, особенно на больших глубинах. Здесь уже требуется воздух искусственный.

Еще в 1919 г. профессор Массачусетского технологическо-

го института Э. Томпсон предложил в дыхательной смеси заменить азот гелием, справедливо полагая, что этот газ будет меньше растворяться в крови и тканях организма и быстрее выводиться из них при декомпрессии. Однако гелий в то время не мог широко применяться в водолазной практике из-за своей баснословной стоимости. Лишь в 1937 г. американский инженер М. Нол, используя гелиево-кислородную смесь, совершил успешное погружение на глубину 126 м на озере Мичиган.

Эксперименты с гелиево-кислородными смесями были продолжены в середине 40-х годов. В 1948 г. англичанин У. Боллард в вентилируемом снаряжении достиг небывалой глубины 162 м, а еще через 8 лет его соотечественник Д. Вуки пробыл пять минут на глубине 180 м. Но гелиево-кислородная смесь немногим отличается от обычного воздуха: Вуки целых 12 часов должен был совершать свой подъем с рекордной глубины, чтобы предотвратить кессонную болезнь. Даже с глубины 120 м водолаз, дышащий гелиево-кислородной смесью, должен подниматься не менее трех часов. Как будто бы выгоды особой не было. Но битва за глубину не прекращалась. Правда, велась она старым, испытанным методом — методом проб и ошибок.

Так продолжалось, пожалуй, до 1958 г., когда молодой швейцарский профессор математики Ганс Келлер увлекся входившим в моду подводным плаванием. Он решил заняться этим делом всерьез. Келлер не слишком верил в то, что именно азот вызывает глубинный наркоз, и обратился за консультацией к специалисту по физиологии дыхания, профессору Цюрихского университета А. Бюльману, который тоже не склонен был обвинять этот газ во всех «грехах». Оба ученых решили испробовать при погружении необычную смесь, состоящую из 5% кислорода и 95%... азота. В 1959 г. Келлер в самодельном водолазном колоколе, переделанном из топливного бака, успешно погрузился на глубину 120 м в Цюрихском озере. Это было началом его триумфа. В последующие годы Келлер и Бюльман создали удивительные дыхательные смеси, которые позволяли (правда, пока только в барокамере) достигать давления, равного давлению на глубине 300 м. При этом период декомпрессии был ничтожно мал — чуть больше получаса. Состав смесей швейцарцы держали в строгом секрете.

В 1962 г. Келлер уже не в барокамере, а в самом настоящем море вместе с опытным английским подводником П. Смоллом совершил феноменальный спуск на глубину 300 м. Однако этот отчаянный эксперимент окончился трагически: погибли Смолл и еще один аквалангист-спасатель, пытавшийся устранить неисправность в подводном колоколе, из которого аквалангисты выходили наружу. Лишь в 1964 г. Келлер и Бюльман раскрыли, правда, не до конца свой секрет, взяв патент на дыхательные смеси. Оказывается, их состав менялся в соответствии с глубиной по строго заданной программе. В качестве разбавителей кислорода использовались инертные газы и водород. В математически точных расчетах, проведенных на ЭВМ, учитывались все особенности: плотность, скорость растворения и обратная диффузия различных газов при изменении их парциального давления в смеси, что позволяло избежать переутомления при дыхании.

Несмотря на трагические обстоятельства, рекорд Келлера был все же выдающимся достижением, позволившим в какой-то мере преодолеть психологический барьер на пути к завоеванию сверхглубин. Сам первопроходец, полный оптимизма, заявил, что покоренная им глубина — далеко не предел: граница свободного погружения, вероятнее всего, лежит за пределами 500 м. Последующие исследования показали, что он был прав. В различных странах производились усиленные поиски «ключей» к глубинам. В барокамерах (ибо пока только так можно было обеспечить полную безопасность испытуемых) велись эксперименты по имитации погружений с использованием различных дыхательных смесей. Они показали, что человек может достигнуть «глубины» более 500 м, а животные — более километра. Предел ли это, сказать трудно, ясно одно: при таких глубинах гелий уже не может служить надежной составляющей дыхательных смесей. В гипербарической камере гелиевый воздух, который сжимают под давлением в десятки атмосфер, делает человеческую речь совершенно неразборчивой, похожей на кряканье. Получается совсем как в детском мультфильме, где лягушата поют: «Вам может показаться, что мы квакаем, на самом деле песню мы поем...» Теплоемкость гелия резко отличается от обычной воздушной, и поэтому комфортная температура должна поддерживаться в пределах 32–34°С. При та-

ких условиях в неподвижном состоянии очень жарко, а в движении довольно прохладно. Чтобы приспособиться к этому режиму, нужно почти две недели. Но, пожалуй, основным недостатком гелия при сверхвысоких давлениях является его плотность, которая все же велика для заданных условий. И, следовательно, только водород в этом отношении может быть конкурентом гелия.

Первая попытка заменить гелий водородом была предпринята в Швеции в 1945 г. Но затем обнаружилось, что при больших давлениях и водород становится биологически активным. Накапливаясь в тканях организма, он вступает в реакции с гидроксильными группами и, как предполагают, нарушает обмен веществ. Поиски подходящего заменителя не прекращаются, и взоры исследователей все чаще и чаще обращаются к неону, хотя его плотность превышает гелиевую в пять раз и он пока еще очень дорог. Неоново-кислородная смесь, в которой содержание инертного газа составляло 75%, никакого вредного действия на организм не имела. Даже речь в такой атмосфере была вполне разборчивой. И что было самым удивительным во время экспериментов в барокамере — неоново-кислородная атмосфера (почти в 22 раза более плотная, чем воздушная) не влияла на самочувствие испытуемых.

Видно, еще не скоро перестанут акванавты «тасовать» газы в поисках оптимальных смесей для дыхания на глубине. А может быть, никаких смесей и не понадобится? Ведь заметил же как-то Жак-Ив Кусто, что человек будущего, а это будет гомо-акватикус — человек подводный, сможет извлекать необходимый для дыхания кислород прямо из воды при помощи искусственных жабр...

ФОРТОЧКА В КОСМОС

За часом час

мелькали дни,
материки смещались,
но —

нашим воздухом они
и в пустоте

дышали.

С. Кирсанов

Чем и как дышать в космосе — вопросы, требующие безотлагательного решения. За пределами нашей атмосферы, как известно, воздуха нет. Да и в пределах ее, на высоте более пяти километров, жить практически невозможно. Во время второй мировой войны был случай, когда английский летчик, встретив вражеский самолет на высоте 5 000 метров, приветствовал его, хотя в тот момент немецкий пилот открыл по нему огонь. Здесь, конечно, нет оснований утверждать, что к полетам был допущен, мягко говоря, человек, не совсем нормальный. Причина была в другом: на такой высоте англичанин подвергся приступам горной болезни, которая вызывается кислородным голоданием. Симптомы этого недомогания: головная боль, тошнота, повышенная утомляемость, ослабление памяти и внимания, нарушение координации движений и, зачастую, эйфория — блаженное состояние, характеризующееся чувством радости, беспечности и ощущением полного физического довольства. В таком состоянии человек перестает трезво оценивать обстановку, что и произошло с английским летчиком.

Признаки горной болезни, когда «воздуха не хватает», хорошо известны новичкам, попавшим в горы. Повинно же в этом парциальное давление кислорода. Хотя относительное содержание кислорода с высотой не меняется, его парциальное давление уменьшается, так как становится меньше давление воздушного столба вообще. И мы говорим, что в горах воздух «разреженный». В этих условиях наша кровь не успевает насытиться кислородом, что и вызывает горную болезнь. У горцев процессы кровообращения протекают более интен-

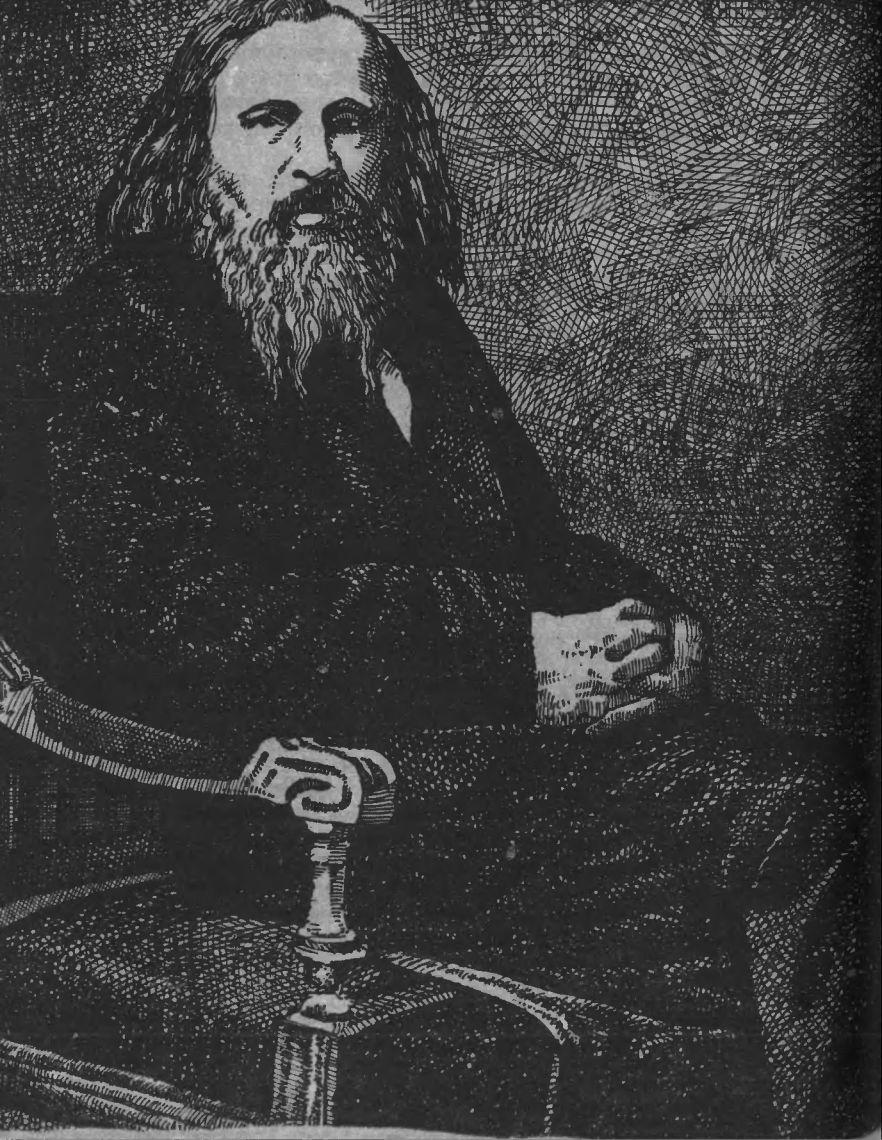
сивно, организм вырабатывает больше гемоглобина, тем самым компенсируя недостаточность парциального давления кислорода. В общем, за здоровье горцев беспокоиться не приходится, а жителям равнин необходима акклиматизация каждый раз, когда они попадают в горы.

Нельзя сказать, что освоение каждой сотни метров высоты проходило с таким же трудом, как и покорение каждых ста метров глубины. Нет. Люди давно приспособились жить на больших высотах. В Тибете, южно-американских Андах и в других высокогорных районах встречаются поселения на высоте около 5000 м над уровнем моря. Пожалуй, рекорд постоянного проживания на большой высоте поставил один тибетский отшельник, жилище которого обнаружили английские альпинисты на высоте 5200 м, когда они поднимались на Эверест.

Но вот что любопытно: горная болезнь дает себя знать не везде и не всегда на одной и той же высоте. В Альпах и на Кавказе она обнаруживается при восхождении на 3000 м, в Тянь-Шане и Андах — на высоте 4000 м, на Памире и в Гималаях — 5000 м. Это происходит потому, что с увеличением высоты меняется не только парциальное давление кислорода, но и другие факторы: температура, влажность, содержание озона, ионизация воздуха. Изучение влияния условий высокогорья помогает «подобрать» наиболее благоприятную атмосферу для космических капсул.

Мысль о создании искусственной атмосферы в подводных и летательных аппаратах принадлежит французскому писателю-фантасту Жюльо Верну. Но, пожалуй, не только ему одному. Почти в то же время подлинно научную аргументацию эта идея получила в трудах французского физиолога П. Бера и чуть позднее — в работах Д. И. Менделеева. Именно они, независимо друг от друга, предложили использовать в высотных полетах герметические кабины с повышенным давлением воздуха.

В 1903 г. появилась работа Константина Эдуардовича Циолковского «Исследования мировых пространств реактивными приборами», в которой он, помимо разработки теоретических основ ракетоплавания, высказал идею создания на борту космического корабля искусственного «малого мира».



В нем круговорот жизненно важных веществ должен совершаться подобно тому, как это происходит в земных условиях. Вот что он писал по этому поводу: «Как на земной поверхности совершается нескончаемый механический и химический круговорот веществ, так и в нашем маленьком мирке он может совершаться... Как на Земле растения своими листьями и корнями поглощают нечистоты и дают взамен пищу (вспомним Пристли! – Е. Т.), так могут непрерывно работать для нас и захваченные нами в путешествие растения... Как все существующие на Земле живет одним и тем же количеством газов, жидкостей и твердых тел, которое никогда не убывает и не прибывает, так и мы можем вечно жить взятыми нами запасами материи... Подыскать и испытать годные для этой цели растения..., определить наименьшую поверхность, освещенную солнечными лучами и достаточную для человека в отношении дыхания и питания..., еще на Земле практически выработать и испытать средства дыхания и питания человека в изолированном пространстве»*. Константин Эдуардович еще тогда наметил такую программу исследования искусственного круговорота веществ, которой ученые следуют и по сей день. Циолковского постоянно волновал вопрос жизнеобеспечения космических экипажей. По свидетельству А. Л. Чижевского, который, несмотря на значительную разницу в возрасте, был очень дружен с Циолковским (оба они были калужанами), Константин Эдуардович как-то спросил его: «Вы ведь верите в возможность полета на Луну? Каким воздухом будут дышать люди в космических кораблях? Я думаю об этом...»*

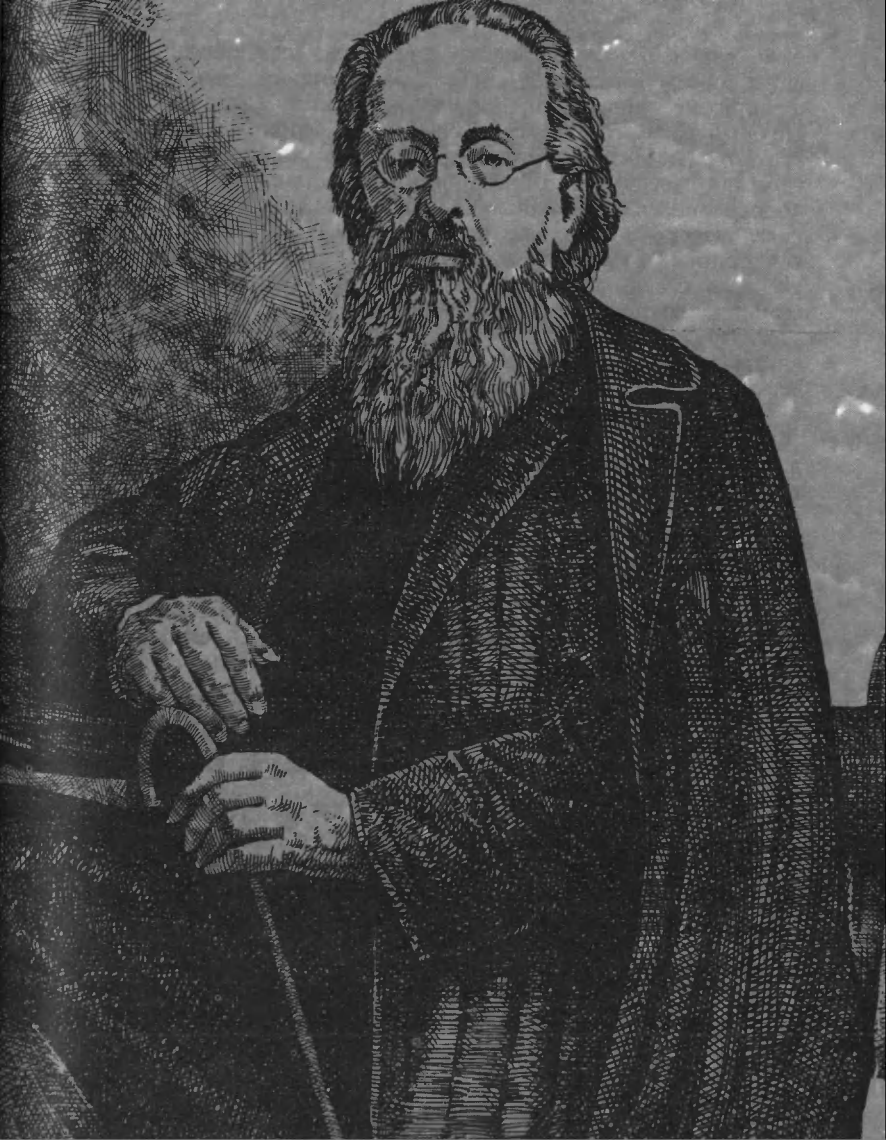
Искусственная атмосфера в летательных аппаратах впервые была создана в начале 30-х годов в герметичных гондолах стратостатов. Уже тогда для выяснения оптимальной среды проводились исследования в условиях, имитирующих пребывание человека в гермокабинах. Полученные данные позволили выявить не только количество потребляемого членами экипа-

*Чижевский А. Л. Вся жизнь. М., Советская Россия, 1974, с. 63.

жа кислорода и выделенной двуокиси углерода, но и различные способы регенерации воздуха. Стало ясно, что для облегчения конструкции гондолы стратостата в ней необходимо было поддерживать давление несколько меньше атмосферного. При этом соответственно должно быть повышено содержание кислорода.

Создание искусственной атмосферы в кабинах космических аппаратов было предопределено предшествующим опытом воздухоплавания, высотной авиации и подводно-водолазной практики. Однако эта проблема имеет и свои, чисто космические особенности, которые диктуют выбор наиболее благоприятной газовой смеси для искусственной атмосферы. Во-первых, радиация, влияние которой начинается почти сразу же после старта, когда корабль достигает околоземных радиационных поясов. Далее начинается воздействие корпускул солнечного ветра и космического излучения. Создать защиту от такого суммарного воздействия очень трудно, не говоря о том, что слишком мощный экран резко утяжеляет конструкцию корабля. В космосе при такой радиации обычный воздух (вернее, содержащийся в нем азот) может сам стать источником вторичной, или, как говорят, наведенной радиации. Во-вторых, взрывная декомпрессия, возможная при внезапной разгерметизации кабины. Здесь происходит то же самое, что и при быстром подъеме водолаза, только более интенсивно (отсюда и «взрывная»)… Для предотвращения взрывной декомпрессии, а также для выхода космонавта в открытый космос служит, как известно, скафандр — эта капсула в капсуле, имеющая свою систему жизнеобеспечения. И, наконец, в третьих, плотность атмосферы космического аппарата. Не секрет, что при космическом конструировании идет борьба за каждый миллиграмм массы. Вот почему состав и давление атмосферы космической капсулы — вопрос первостепенной важности. Дело даже не столько в плотности искусственной газовой смеси, сколько в массе системы регенерации и в расходе энергии на кондиционирование, а они в свою очередь тем меньше, чем легче атмосфера кабины. А чем меньше расход энергии, тем легче источник питания… В об-

Константин Эдуардович Циолковский
(1857–1935)



щем, как в сказке про репку, где решающее значение имеет даже совсем маленькая, вернее, маломощная, мышка. Такой, отнюдь не маленькой, «мышкой» может оказаться гелий, который рассматривается как наиболее вероятный заменитель азота в атмосфере космических кораблей. Химическая и биологическая пассивность гелия при обычном давлении — вне всяких подозрений. Феноменальная прочность молекул этого газа тоже известна. Отсюда и предположение, что в гелиево-кислородной атмосфере наведенной радиации быть не должно. Ну и, наконец, плотность гелия, которая почти в семь раз меньше плотности азота. Смущают, правда, теплофизические свойства гелиевой атмосферы да ее «квакающе-крякающие» акустические особенности. Однако многочисленные физиологические исследования пока не дали четкого ответа на вопрос в том, что лучше — азот или гелий.

Из всех возможных вариантов искусственных газовых сред для кабин космических кораблей практически осуществлены пока только два: в советских аппаратах используется смесь, по составу подобная земной атмосфере, в американских — кислород под давлением около $3 \cdot 10^4$ Па. Советские конструкторы пошли по самому надежному, но более сложному пути: в космических капсулах сохраняется обычный состав и давление воздуха. Американские конструкторы выбрали моногазовую, кислородную атмосферу с пониженным давлением, что дает некоторое снижение массы оболочки корабля. Тщательные физиологические и клинические исследования показали, что токсическое действие кислорода не проявляется, если его парциальное давление не превышает $5,6 \cdot 10^4$ Па. При этом не обнаружилось никаких изменений ни в газообмене, ни в кровообращении, ни в деятельности нервной системы.

Но, как говорят, выгадывая — прогадываешь. Американцы, выиграв в массе корабля и простоте его моногазовой внутренней среды, проиграли, и довольно основательно, в пожароопасности. По последней программе космических полетов «Шаттл» (*shuttle — челнок*) в корабле многоразового использования «Колумбия» предусмотрена уже азотно-кислородная атмосфера.

В июле 1975 г. был проведен уникальный космический эксперимент: в космосе произвели стыковку советский косми-

ческий корабль «Союз» и американский — «Аполлон», имевшие не только совершенно разную конструкцию, но и различные газовые составы для дыхания. Задача совмещения атмосфер этих кораблей (для того чтобы космонавты могли обмениваться визитами) была, пожалуй, самой сложной частью при подготовке программы совместного полета. Однако она была решена весьма просто.

Кислородно-азотная атмосфера корабля «Союз» имела при старте обычное давление — 0,1 МПа — в спускаемом аппарате и в орбитальном отсеке.

Атмосфера кабины американского корабля «Аполлон» состояла из чистого кислорода под давлением 0,033 МПа, который поступал из двух баков. Система кислородного обеспечения автоматически поддерживала заданное давление в течение всего полета. Влажность и температура воздуха внутри советского и американского кораблей поддерживалась в пределах нормы.

Во время полета после выхода на орбиту атмосферное давление в кабине советского аппарата было снижено до 0,0665 МПа, одновременно содержание кислорода было увеличено до 40%. Это позволило упростить переход космонавтов из одного корабля в другой и исключить длительную декомпрессию, на которую при других условиях потребовалось бы пять часов. В переходном модуле корабля «Аполлон» космонавты должны были находиться некоторое время. Это время нужно было для того, чтобы заменить в переходном модуле атмосферу — она должна была стать одинаковой с атмосферой корабля, в который совершался переход.

Известный советский физиолог академик В. В. Парин, восхищенный полетом Юрия Гагарина, сказал:

«Что ж, начало положено! Сто восемь минут в космосе — много это или мало? Тысячелетиями человек не мог пробыть под водой дольше пяти минут. Первая подводная лодка не проплывала и получаса. Так что 108 минут в космосе — это очень много. Тем более, что эти 108 минут можно было без труда многократно умножить».*

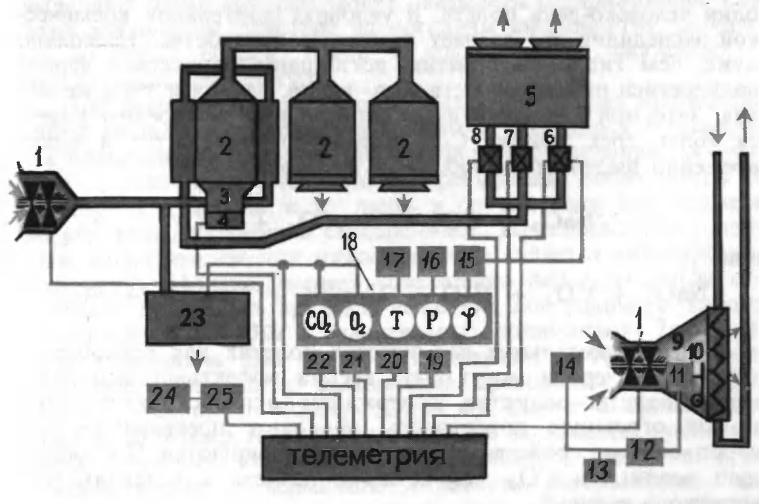
*Парин В. В. О вероятном ... О невероятном. М., Наука, 1973, с. 190.

Сегодня многодневным пребыванием в космосе и даже полетом на Луну никого не удивишь. Но все же экспедиция, скажем, на Марс представляет известные трудности, и прежде всего из-за значительной массы космического корабля. Вполне естественно, что чем дольше продолжается полет, тем больше жизненно важных продуктов необходимо космонавтам. Подсчитано, что экипажу из трех человек их требуется около 6 тонн в год. Во что это выливается, можно себе представить, если учесть, что выведение на околоземную орбиту 1 кг полезного груза, по американским данным, обходится в 1500 долларов.

Самый простой способ избавиться от лишней массы продуктов питания — обезводить их, например, сублимацией. Ну, а воду и кислород облегчить, разумеется, никак нельзя. Здесь, как говорится, ни убавить, ни прибавить. И действительно, ни убавлять, ни прибавлять (тем более!) ничего и не следует. Нужно «просто» регенерировать эти вещества, осуществив этакий миникругооборот в космической капсуле, наподобие того, какой природа создала на Земле.

В зависимости от длительности пребывания экипажа в космосе предусматриваются различные схемы утилизации и регенерации продуктов жизнедеятельности. Но даже в космических кораблях, предназначенных для одних и тех же целей, как, например, «Союз» и «Аполлон», принципы поддержания постоянства состава атмосферы кабин различны. «Союз» оснащен регенерационной системой жизнеобеспечения, из «Аполлона» продукты жизнедеятельности экипажа и примеси удаляются с помощью поглотителей.

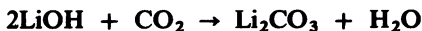
Мы много и подробно говорили о вреде двуокиси углерода. Содержание ее в герметичных помещениях не должно превышать 1%. Именно такая концентрация CO_2 поддерживалась в космическом корабле, пилотируемом Юрием Гагариным. В последующих космических полетах, учитывая их большую продолжительность, допустимая концентрация двуокиси углерода в кабинах кораблей была снижена вдвое. Любопытно, что для очистки воздуха от CO_2 даже через два столетия после Дж. Блэка не придумали ничего нового и лучшего, чем связать это вещество щелочью (помните, «связанный воздух?»). На американских космических кораблях, на-



Принципиальная схема системы регенерации и кондиционирования газовой среды герметической кабины советских космических кораблей «Восток»:

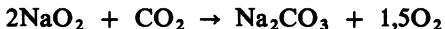
1 – двойные электроклапаны; 2–4 – регенераторы с регулирующим устройством; 5 – узел автоматического поддержания влажности с блоком поглотителя влаги; 6 – автоматический клапан; 7, 8 – клапаны с ручным приводом; 9 – жидкостно-воздушный теплообменник; 10–14 – автоматические регуляторы температуры; 15, 19, 20 – измерители влажности воздуха (φ); 16, 22 – измерители давления воздуха (P); 17, 21 – измерители температуры воздуха (T); 18 – система контроля газовой среды; 23–25 – автоматический газоанализатор на кислород (O₂) и двуокись углерода (CO₂).

пример, пользуются специальными патронами с гидроокисью лития:

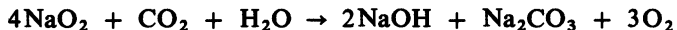


При этом 1 кг LiOH поглощает 800 г CO₂. Однако этот способ обладает существенным недостатком: продукт реакции – карбонат лития – нельзя регенерировать. Поэтому приходится брать запасные патроны из расчета 1,2 кг LiOH на

один человеко-день полета. В условиях длительной космической экспедиции это создает известные неудобства. Несколько хуже, чем гидроокись лития, поглощают двуокись углерода надперекиси щелочных металлов — калия, натрия и того же лития. Зато при этом, что называется, одним выстрелом удаётся убить трех зайцев: CO_2 и влага поглощаются и одновременно выделяется свободный кислород:

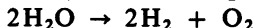
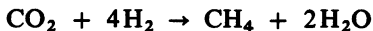


или



В продолжительных космических полетах для поглощения двуокиси углерода могут быть весьма эффективно использованы цеолиты — вещества, содержащие алюмосиликаты. Они имеют огромную поверхность, обладают прекрасными адсорбционными свойствами и легко регенерируются. Поглощенную цеолитами CO_2 можно легко извлечь в условиях космического вакуума.

Поиски рациональных способов регенерации двуокиси углерода в замкнутых пространствах привели к тому, что сам этот газ рассматривается как перспективный источник получения чистого кислорода по следующей схеме:



Первую реакцию можно осуществить при температуре около 300°C , а вторую — пиролиз метана — при 1000°C . Третья стадия — это электролиз воды. Все они требуют значительной затраты энергии, получение которой в космическом полете — пока проблема.

Из атмосферы космических кабин помимо двуокиси углерода, разумеется, необходимо удалять и другие примеси. И это не только продукты жизнедеятельности. Резина, пластмассы, красители и лаки для покрытия стен и оборудования

выделяют пары, которые могут оказывать раздражающее или даже токсическое действие на организм космонавтов, особенно во время сварки, пайки и других работ, связанных с повышением температуры.

Проблема удаления газообразных примесей из атмосферы кабины решается довольно просто из-за их малых количеств. Их интенсивный прирост, как показали исследования, начинается только после месячного пребывания космонавтов в замкнутой среде, да и то лишь в случае, если эти примеси не удалялись из кабины своевременно. Простейшим и надежным поглотителем для микропримесей является активированный уголь. Однако бывают совершенно непредвиденные обстоятельства, когда вредные вещества поступают в кабину космического корабля в значительных количествах. Такая ситуация возникла при спуске американского корабля «Аполлон» после успешного выполнения программы совместного полета с нашим «Союзом». Один из членов американского экипажа В. Бранд не перевел в нужное положение тумблеры, обеспечивающие автоматическую посадку. В связи с этим токсичные газы от взрывного устройства, раскрывавшего парашюты, проникли в командный отсек «Аполлона». Уже в момент приводнения у членов экипажа отмечалось легкое отравление, а сам Бранд даже потерял сознание. Только уверенные действия командира корабля Т. Стаффорда, который быстро сумел отстегнуть привязные ремни и раздать всем кислородные маски, спасли космонавтов от тяжелого отравления.

В воздухе кабин космических кораблей есть и аэрозоли. Во время работы на борту орбитальной космической станции «Салют-4» советские космонавты А. Губарев и Г. Гречко первое время жаловались на то, что там довольно пыльно. Впоследствии, учитывая это обстоятельство, орбитальные станции стали «продувать» заранее накануне стыковки, включая с Земли фильтры очистки воздуха. И космонавты, приступавшие к работе на станции после стыковки, отмечали, что воздух прекрасный. В условиях невесомости пыль ведет себя иначе, чем на Земле. Она выплывает из всех щелей и закоулков. Источниками возникновения аэрозолей на борту космического корабля являются и предметы обихода, и сами космонавты.

В атмосфере кабин обнаружены мельчайшие капельки смазочных материалов, волокна, частички пищи и кожи, перхоть, высохшая слюна и разнообразнейшие химические вещества. Для борьбы с пылью обычно используют материалы, способные задерживать аэрозольные частицы. Такие фильтры komponуются в один блок с поглотителями газообразных примесей и входят в систему регенерации и очистки воздуха. Для того чтобы в кабинах космических кораблей не было застойных зон, создают искусственный ветер при помощи вентиляторов, установленных в разных местах.

Нельзя забывать и о том, какое значение имеет для нормальной жизнедеятельности влажность воздуха, его температура и ионный состав. В отсутствие водяных паров появляется неприятное ощущение сухости во рту и носоглотке, раздражение глаз и верхних дыхательных путей. При повышенной же влажности затруднено испарение пота с поверхности тела, т.е. ухудшается терморегуляция организма. Оптимальная влажность на борту космического корабля поддерживается благодаря применению гигроскопических веществ, таких, как силикагель, цеолиты, активированный уголь, а также различных конденсаторов влаги. Для поддержания необходимой температуры служит автоматическая система кондиционирования воздуха, где происходит его охлаждение в теплообменниках (в космических кораблях учитывается тепловыделение от самих членов экипажа, приборов и пр.). Предусматривается также и ионизация воздуха.

И еще несколько слов о принципиально новом подходе к частичной регенерации воздуха в кабине космического корабля, который был осуществлен на орбитальной научной станции «Салют-5». На этой станции впервые в практике пилотируемых космических полетов была установлена специальная многофункциональная комбинированная система, обеспечивающая при необходимости полную или частичную замену атмосферы в кабине. 21 февраля 1977 г. космонавты В. Горбатко и Ю. Глазков во время полета на «Салюте-5» осуществили проверку этой установки, частично стравив «старый» воздух из станции в космическое пространство и заменив его свежим из баллонов. Комфортные условия при этом не были нарушены и космонавты даже не надевали скафандров. Так впервые была открыта «форточка» в космос...

Если Юрий Гагарин пробыл в космосе немногим больше полутора часов, то полет на Марс и обратно, с учетом ожидания благоприятных условий для возвращения, может продолжаться около двух с половиной лет. Пребывание людей на обитаемых космических станциях предполагается еще более долгим. Какой же совершенной и сложной должна быть в этом случае система жизнеобеспечения! 5 ноября 1967 г. у нас в стране был начат важный медико-технический эксперимент, в котором участвовали три испытателя: врач Г. А. Мановцев, биолог А. Н. Божко и техник Б. Н. Улыбышев. В соответствии с программой освоения космического пространства эти отважные люди ровно год (!) провели в наземной гермокамере с частично замкнутой системой жизнеобеспечения, осуществляющей максимально возможную регенерацию кислорода и воды. Кислород для дыхания вырабатывался системой регенерации, состоящей из электролизного блока и блока утилизации двуокиси углерода. В электролизном блоке сконденсировавшаяся из воздуха влага разлагалась на кислород и водород. Кислород после очистки поступал в гермокамеру для дыхания, а водород — в блок утилизации двуокиси углерода, где по описанной выше схеме получалась снова вода.

Очистка воздуха в самой гермокамере от CO_2 и его концентрирование обеспечивались системой, состоящей из трех блоков: блока осушки воздуха с помощью гигроскопических веществ; блока поглощения двуокиси углерода с применением искусственных цеолитов и блока очистки от вредных газообразных примесей и микробов с помощью специальных каталитических печей сжигания и бактерицидных фильтров. После очистки воздух увлажнялся и возвращался снова в гермокамеру.

Свое пребывание в таких необычных условиях сами испытатели называли «годом в земном звездолете»...

Прошло немногим более десяти лет, и вот уже в самом настоящем космосе люди стали жить по полгода. В ноябре 1978 г. завершился длительный полет на орбитальном комплексе «Салют-6» — «Союз», продолжавшийся 140 суток. Его совершили советские космонавты В. Коваленок и А. Иванченков. Вскоре в полет отправились советские космонавты В. Ляхов

и В. Рюмин; они провели в космосе 175 дней. Они тоже пристыковались своим «Союзом» к орбитальной станции «Салют-6», которая за время существования на орбите стала не только космическим домом, но и гаванью, «приютив» на своем борту многие пилотируемые и автоматические грузовые корабли.

В 1980 г. космонавты В. Рюмин и Л. Попов установили рекорд: они пробыли на космической орбите 185 суток!

Этими полетами был убедительно продемонстрирован высокий уровень отечественной космической техники. Надежная работа всех бортовых систем, в том числе, конечно же, и системы регенерации воздуха, позволила выполнить все запланированные программы.

Чем сложнее система, тем вероятнее снижение надежности. И при создании системы регенерации для сверхдлительных космических полетов, видимо, не обойтись только сугубо техническими средствами. Возможно, для этих целей потребуются уже жизнедеятельность других организмов, с которыми человек мог бы ужитья в тесноте космической капсулы. Конечно, такую биосферу, как у нас на Земле, со всеми нюансами ее круговорота веществ, на борту космического корабля, видимо, не устроить. Но тщательно сбалансированный симбиоз вполне возможен. Для создания необходимой экологической среды в замкнутом объеме круговорот должен поддерживаться за счет синтеза необходимых веществ из отходов жизнедеятельности человека. Эксперименты, проведенные как у нас в стране, так и в США, показали, что биологические звенья в космических кораблях должны применяться при полетах длительностью более полугода. Самой простой и надежной, по идее, должна быть двухзвенная система: человек – растение. Но здесь имеется много тонкостей, подчас еще не совсем ясных.

Большое значение изучению жизнедеятельности организмов в космических условиях придавал академик С. П. Королев. Известный советский ученый-генетик Н. П. Дубинин вспоминает:

«Внимание С. П. Королева мы ощущали постоянно. Он, как главный конструктор, берег каждый квадратный сантиметр пространства и каждый грамм веса внутри космического корабля.

Но для наших биологических объектов всегда находилось место, и они регулярно летали в космос*».

Вот, например, с какой «живностью» экспериментировали на борту станции «Салют-4» наши космонавты А. Губарев и Г. Гречко: хлореллой, кишечной палочкой, плодовой мушкой дрозофилой, горохом. В «Салюте-5» В. Горбатко и Ю. Глазков проводили опыты с грибами и икрой, наблюдали за прорастанием семян травянистых растений. А В. Коваленок и В. Савиных в «Салюте-6» устроили целую космическую оранжерею, в которой выращивали бобовые и орхидеи. Трудно сказать, кто из этих «кандидатов» будет участвовать в симбиотической системе жизнеобеспечения звездолета, удаляющегося от родной планеты. Вероятнее всего, хлорелла. Да, опять она, наша знакомая хлорелла.

Впервые эту водоросль описал еще Дж. Пристли, но лишь в конце прошлого века голландский микробиолог М. Бейеринк выделил ее в самостоятельный вид и назвал *Chlorella vulgaris* — «хлорелла обыкновенная». Мы уже говорили о большой биологической ценности хлореллы. В космосе она ценна вдвойне: поглощая двуокись углерода, хлорелла выделяет кислород.

В 1974 г. в Московском институте медико-биологических проблем был осуществлен интересный эксперимент, в котором участвовал испытатель Николай Михайлов. Ровно месяц он провел «наедине с хлореллой», которая «кормила» его (дополнительно к дневному рациону 50 г сухой биомассы, из которой можно печь блины и варить кисель) и полностью обеспечивала кислородом. Установка искусственной биосферы в гермокамере, где находился испытатель, получила романтическое название «Сирень». Конечно, у хлореллы нет ничего общего с сиренью, но такое название правомерно. По крайней мере, оно хоть как-то приближало испытателя, находящегося в тесном, замкнутом пространстве, к обычным условиям. Основная часть установки «Сирень» — это 30-литровый цилиндрический реактор для выращивания хлореллы при искусственном свете. В этот сосуд был налит питательный

*Новый мир, 1977, № 1, с. 222.

раствор, в каждом кубическом сантиметре которого находился примерно миллиард клеток хлореллы.

Во время эксперимента обнаружились чрезвычайно важные подробности: хлорелла поглощала не только двуокись углерода, но и метан, а также окись углерода, выделявшиеся в процессе жизнедеятельности человека. В этом ей «помогали» и другие микроорганизмы-спутники. Живая система регенерации обладает замечательным свойством, которое отсутствует у системы механической, — самообновлением. Регенерация регенерации! И хлорелла, и бактерии, живущие с ней в симбиозе, размножаются. И еще одна важная особенность живых регенераторов — они обладают способностью к саморегуляции. Как только содержание CO_2 в гермокабине повышалось (испытатель начинал выполнять какую-нибудь работу), хлорелла, соответственно, несколько увеличивала выделение кислорода. За месяц весь кислород в гермокабине обновился 15 раз.

Однако гимн хлорелле мы вынуждены закончить в несколько минорных тонах. Как это часто бывает, положительное качество переходит в свою противоположность. Вот и хлорелла «усердствует» больше, чем нужно. Из каждого литра двуокиси углерода, выдыхаемого человеком, она вырабатывает 1,2 л кислорода. Таким образом, содержание O_2 в замкнутом пространстве все время возрастает; если же поддерживать его концентрацию постоянной, то появятся излишки CO_2 . В эксперименте поддерживали постоянным содержание кислорода, а избыток двуокиси углерода удаляли с помощью химического поглотителя. Чисто биологическая система регенерации пока не получилась. Сразу не удалось подыскать «экипаж», способный поддерживать постоянной атмосферу в замкнутом помещении. Вакансии открыты...

Но возможны и другие, на первый взгляд фантастические, пути жизнеобеспечения космических полетов.

Не секрет, что человек всегда стремился к самоусовершенствованию, и не только к нравственному и физическому. Одежда и рыцарские доспехи, обувь и очки, слуховой аппарат и перчатки — все эти обыденные вещи в той или иной степени призваны были и раньше, и теперь как-то компенсировать недостатки нашего организма. Мы уж не говорим о парашюте, акваланге, противогазе и всяческих скафандрах,

без которых невозможна жизнедеятельность в экстремальных условиях. Но все эти приспособления дополняют наш организм, если так можно выразиться, с внешней стороны. А что если попробовать внедриться вовнутрь?

Самые фантастические проекты, связанные с космическими полетами, уже настойчиво требуют своего решения. Речь идет о том, чтобы вообще отказаться от громоздких систем жизнеобеспечения, а обычного человека «дополнить» бионическими приспособлениями таким образом, чтобы он превратился в некое кибернетизированное существо — *киборга*. Эту идею весьма активно разрабатывают американские ученые М. Клайнс — инженер-математик, специалист по химическому равновесию живых организмов, и психофармаколог Н. Клайни, занимающийся проблемами химического воздействия на эмоции и мышление человека. Они полагают, что поголовная «киборгизация» человечества, или по крайней мере большей его части, — не за горами. Мы не будем касаться философских, медицинских и морально-этических сторон этой проблемы, остановимся лишь на ее приложении к космонавтике. Вот как Клайнс и Клайни характеризуют киборга. Это «совокупность экзогенных компонентов, расширяющих пределы функции саморегулирования организма, чтобы адаптировать его к новым условиям окружающей среды»*. Под экзогенными компонентами подразумеваются химические и электронно-механические устройства, встроенные в человеческий организм и функционирующие в качестве своеобразных синтетических органов. Новые окружающие условия — это поверхность других планет, космический холод и вакуум и прочие необычные среды.

По существу киборг — это идеальная система человек — машина, действующая без промежуточных звеньев, одним из которых является система жизнеобеспечения. После возвращения на Землю киборг может «рекиборнизироваться», т. е. вернуться к нормальному человеческому состоянию, изъав из организма все теперь уже ненужные «детали». Таким образом, Клайнс и Клайни считают бесперспективными системы обеспечения микроклимата в космических аппаратах. Для того чтобы доказать свою правоту, они разрабатывают при-

*Шарп М. Человек в космосе. М., Мир, 1971, с. 145.

способление, позволяющее рыбам... жить на суше. Вот каким образом, например, можно осуществить снабжение киборга кислородом, вводя его непосредственно в кровь. В человеческий организм вживляется специальное миниатюрное устройство, которое расщепляет двуокись углерода на кислород и углерод.

...И все же пока мы живем на Земле и дышим ее воздухом. Недаром космонавт Борис Волынов на вопрос, что было для него самым приятным после возвращения из космоса, ответил:

«Аромат земного воздуха. Он неповторим. Его как будто пьешь с наслаждением».

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Бахвалов Г. Т. и др.* Коррозия и защита металлов. М., Metallurgizdat, 1947.
- Бердоносос С. С.* Инертные газы вчера и сегодня. М., Просвещение, 1966.
- Беус А. А. и др.* Геохимия окружающей среды. М., Недра, 1976.
- Боровиков П. А. и др.* Человек живет под водой, Л., Судостроение, 1974.
- Васильев М.* Знакомые незнакомцы. М., Советская Россия, 1964.
- Виноградов А. П.* Изотопы кислорода и фотосинтез. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Войткевич Г. В.* Происхождение и химическая эволюция Земли. М., Наука, 1973.
- Гильденскиольд Р. С. и др.* Санитарная охрана атмосферного воздуха. М., Медицина, 1976.
- Глиزمانенко Д. Л.* Получение кислорода. М., Химия, 1972.
- Денисов В. Г.* Космонавт летает... на Земле. М., Машиностроение, 1964.
- Детри Ж.* Атмосфера должна быть чистой. М., Прогресс, 1973.
- Джуа М.* История химии. М., Мир, 1975.
- Диомидов М. Н. и др.* Покорение глубин. Л., Судостроение, 1964.
- Камшилов М. М.* Эволюция биосферы. М., Наука, 1979.
- Кароль И. Л.* Радиоактивные изотопы и глобальный перенос в атмосфере. Л., Гидрометеиздат. 1972.
- Колбасов О.* Природа под охраной закона. М., Московский рабочий, 1975.
- Крицман В. А.* Книга для чтения по неорганической химии. Часть 1. М., Просвещение, 1974.
- Кузнецов И.* Защита атмосферного воздуха от загрязнения. Симферополь, Таврия, 1973.
- Ларин В. Н.* Гипотеза изначально гидридной Земли. М., Недра, 1980.
- Минх А. А.* Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение. М., Медгиз, 1963.
- Основы космической биологии и медицины.* М., Наука, 1975. Совместное советско-американское издание в 3-х томах.
- Перельман А. И.* Геохимия биосферы. М., Наука, 1973.
- Погосян Х. П. и др.* Атмосфера Земли. М., Просвещение, 1970.
- Правовая охрана природы в СССР.* М., Юридическая литература, 1976.
- Прокофьева И. А.* Атмосферный озон. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1951.

- Селезнева Е.С.* Атмосферные аэрозоли. Л., Гидрометеорологическое изд-во, 1966.
- Сеттон О.Г.* Вызов атмосферы. Л., Гидрометеорологическое изд-во, 1965.
- Соколова Е.Н.* Домик погоды. М., Просвещение, 1965.
- Строганов А. и др.* Чистое дыхание автомобиля. М., Московский рабочий, 1974.
- Таубе П.Р. и др.* От водорода до... нобелия? М., Высшая школа, 1961.
- Туркебаев Э.А.* Применение кислорода в металлургии. Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1964.
- Уманский С.П.* Человек на космической орбите. М., Машиностроение, 1974.
- Фельдман Ю.Г.* Гигиеническая оценка автотранспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха. М., Медицина, 1975.
- Финкельштейн Д.Н.* Инертные газы. М., Наука, 1979.
- Хргиан А.Х.* Физика атмосферного озона. Л., Гидрометеиздат, 1973.
- Чандлер Т.* Воздух вокруг нас. Л., Гидрометеиздат, 1974.
- Юнге Х.* Химический состав и радиоактивность атмосферы. М., Мир, 1965.

**Ефим Давидович
Терлецкий**

**ЛИК
НЕВИДИМКИ**

**Редактор Г. Н. ГОСТЕЕВА
Художник В. М. КИРЕЕВ
Художественный редактор Н. В. НОСОВ
Технический редактор Г. И. КОСАЧЕВА
Корректор С. В. ТОРОПЦЕВА**

ИБ № 287

Сдано в наб. 11.06.81. Подп. в печ. 2.12.81. Т-23090.
Формат бумаги 70 × 108¹/₃₂. Бумага офсетная № 1.
Печать офсетная. Гарнитура таймс.
Усл. печ. л. 8,40. Усл. кр.-отт. 17,33. Уч.-изд. л. 9,74.
Тираж 40000 экз. Зак. № 410. Цена 40 к. Изд. № 1229.

**Ордена «Знак Почета» издательство «Химия».
107076, Москва, Стромынка, 13**

**Можайский полиграфкомбинат
Союзполиграфпрома при Государственном
комитете СССР по делам
издательств, полиграфии
и книжной торговли.
г. Можайск, ул. Мира, 93.**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ХИМИЯ»

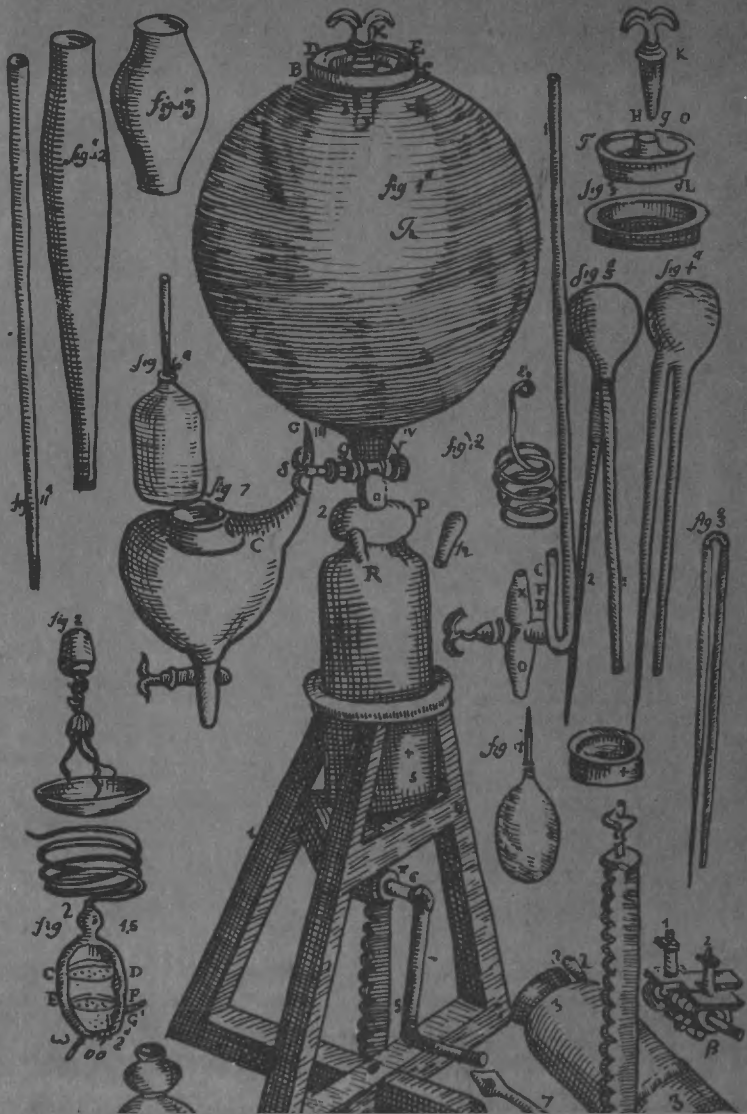
Готовится к изданию в 1982 году книга

Зигель Ф. Ю. Вещество Вселенной.
М., Химия, 1980. 10 л. ц. 50 к.

В книге рассказывается о методах космической химии, позволяющих узнать химический состав космических тел и рассеянного космического вещества. Читатель узнает о распространенности различных химических элементов во Вселенной и о наиболее вероятных гипотезах их происхождения. Значительное место уделено органике космоса, проблемам возникновения «живого вещества».

Написанная живо и увлекательно, книга адресована самому широкому кругу читателей.

Книгу можно приобрести в магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать в отделах «Книга – почтой» по следующим адресам:
103050, Москва, ул. Медведева, 1, магазин № 8 «Техническая книга»;
198147, Ленинград, Московский просп., 54, магазин № 21 «Книги по химии».



40 коп.