## Углерод

«Углерод встречается в природе как в свободном, так и в соединенном состоянии, в весьма различных формах и видах. В свободном состоянии углерод известен по крайней мере в трех видах: в виде угля, графита и алмаза. В состоянии соединений углерод входит в состав так называемых органических веществ, т.е. множества веществ, находящихся в теле всякого растения и животного. Он находится в виде углекислого газа в воде и воздухе, а в виде солей углекислоты и органических остатков в почве и массе земной коры. Разнообразие веществ, составляющих тело животных и растений, известно каждому. Воск и масло, скипидар и смола, хлопчатая бумага и белок, клеточная ткань растений и мускульная ткань животных, винная кислота и крахмал – все эти и множество иных веществ, входящих в ткани и соки растений и животных, представляют соединения углеродистые. Область соединений углерода так велика, что составляет особую отрасль химии, т.е. химии углеродистых или, лучше, углеводородистых соединений».

Эти слова из «Основ химии» Д.И. Менделеева служат как бы развернутым эпиграфом к нашему рассказу о жизненно важном элементе – углероде. Впрочем, есть здесь один тезис, с которым, с точки зрения современной науки о веществе, можно и поспорить, но об этом ниже.

Вероятно, пальцев на руках хватит, чтобы пересчитать химические элементы, которым не была посвящена хотя бы одна научная книга. Но самостоятельная научно-популярная книга – не какая-нибудь брошюрка на 20 неполных страницах с обложкой из оберточной бумаги, а вполне солидный том объемом почти в 500 страниц – есть в активе только одного элемента – углерода.

И вообще литература по углероду – богатейшая. Это, во-первых, все без исключения книги и статьи химиков-органиков; во-вторых, почти все, что касается полимеров; в-третьих, бесчисленные издания, связанные с горючими ископаемыми; в-четвертых, значительная часть медико-биологической литературы...

Поэтому не будем пытаться объять необъятное (ведь не случайно авторы популярной книги об элементе №6 назвали ее «Неисчерпаемый»!), а сконцентрируем внимание лишь на главном из главного – попытаемся увидеть углерод с трех точек зрения.

### Углерод глазами кристаллохимика

Углерод – один из немногочисленных элементов «без роду, без племени». История общения человека с этим веществом уходит во времена доисторические. Имя первооткрывателя углерода неизвестно, неизвестно и то, какая из форм элементарного углерода – алмаз или графит – была открыта раньше. И то и другое случилось слишком давно. Определенно утверждать можно лишь одно: до алмаза и до графита было открыто вещество, которое еще несколько десятилетий назад считали третьей, аморфной формой элементарного углерода – уголь. Но в действительности уголь, даже древесный, это не чистый углерод. В нем есть и водород, и кислород, и следы других элементов. Правда, их можно удалить, но и тогда углерод угля не станет самостоятельной модификацией элементарного углерода. Это было установлено лишь во второй четверти нашего века. Структурный анализ показал, что аморфный углерод – это по существу тот же графит. А значит, никакой он не аморфный, а кристаллический; только кристаллы его очень мелкие и больше в них дефектов. После этого стали считать, что углерод на Земле существует в двух элементарных формах – в виде графита и алмаза.

Вам никогда не приходилось задумываться о причинах резкого «водораздела» свойств, который проходит во втором коротком периоде менделеевской таблицы по линии, отделяющей углерод от следующего за ним азота? Азот, кислород, фтор при обычных условиях газообразны. Углерод – в любой форме – твердое тело. Температура плавления азота – минус 210,5°C, а углерода (в виде графита под давлением свыше 100 атм.) – около плюс 4000°C...

Дмитрий Иванович Менделеев первым предположил, что эта разница объясняется полимерным строением молекул углерода. Он писал: «Если бы углерод образовывал молекулу С2, как и О2, то был бы газом». И далее: «Способность атомов угля соединяться между собой и давать сложные молекулы проявляется во всех углеродистых соединениях... Ни в одном из элементов такая способность к усложнению не развита в такой мере, как в углероде. Поныне нет основания для определения меры полимеризации угольной, графитной, алмазной молекулы, только можно думать, что в них содержится Cn, где n есть большая величина».

Это предположение подтвердилось в наше время. И графит, и алмаз – полимеры, состоящие из одинаковых, только углеродных атомов.

По четкому замечанию профессора Ю.В. Ходакова, «если исходить из природы преодолеваемых сил, профессию гранильщика алмазов можно было бы отнести к химическим профессиям». Действительно, гранильщику приходятся преодолевать не сравнительно слабые силы межмолекулярного взаимодействия, а силы химической связи, которыми объединены в молекулу алмаза углеродные атомы. Любой кристалл алмаза, даже огромный, шестисотграммовый «Куллинан» – это по существу одна молекула, молекула в высшей степени регулярного, почти идеально построенного трехмерного полимера.

Иное дело графит. Здесь полимерная упорядоченность распространяется только в двух направлениях – по плоскости, а не в пространстве. В куске графита эти плоскости образуют достаточно плотную пачку, слои которой соединены между собой не химическими силами, а более слабыми силами межмолекулярного взаимодействия. Вот почему так просто – даже от соприкосновения с бумагой – расслаивается графит. В то же время разорвать графитовую пластинку в поперечном направлении весьма сложно – здесь противодействует химическая связь.

Именно особенности молекулярного строения объясняют огромную разницу в свойствах графита и алмаза. Графит отлично проводит тепло и электричество, алмаз – изолятор. Графит совершенно не пропускает света – алмаз прозрачен. Какими бы способами ни окисляли алмаз, продуктом окисления будет только СО2. А окисляя графит, можно при желании получить несколько промежуточных продуктов, в частности графитовую (переменного состава) и меллитовую С6(СООН)6 кислоты. Кислород как бы вклинивается между слоями графитовой пачки и окисляет лишь некоторые углеродные атомы. В кристалле алмаза слабых мест нет, и поэтому возможно или полное окисление или полное не окисление – третьего не дано...

Итак, есть «пространственный» полимер элементарного углерода, есть «плоскостной». В принципе давно уже допускалось существование и «одномерного» – линейного полимера углерода, но в природе он не был найден.

Его получили совсем недавно, уже в 60-е годы, советские химики В.В. Коршак, А.М. Сдадков, В.И. Касаточкин и Ю.П. Кудрявцев. Новое вещество было синтезировано путем каталитического окисления ацетилена. Линейный полимер углерода назвали карбином. Внешне он выглядит как черный мелкокристаллический порошок, обладает полупроводниковыми свойствами, причем под действием света электропроводность карбина сильно увеличивается. На этом свойстве основано первое практическое применение карбина – в фотоэлементах. Важно, что карбин не утрачивает фотопроводимости при температуре до 500°C; это намного больше, чем у других материалов того же назначения.

По словам первооткрывателей карбина, самым сложным для них было определить, какими же связями соединены в цепочку углеродные атомы. В нем могли быть чередующиеся одинарные и тройные связи (– С ≡ С – С ≡ С – С ≡), а могли быть только двойные (= С = С = С = С =). А могло быть и то и другое одновременно. Лишь через несколько лет Коршаку и Сладкову удалось доказать, что двойных связей в карбине нет. Однако, поскольку теория допускала существование углеродного линейного полимера только с двойными связями, было бы просто грешно не попытаться получить эту разновидность – по существу, четвертую модификацию элементарного углерода.

Это вещество было получено в Институте элементоорганических соединений АН СССР. Новый линейный полимер углерода назвали поликумуленом. Видимо, еще рано строить предположения о возможных практических применениях «младшего брата карбина» – исследования его свойств продолжаются, авторы открытия не торопятся с выводами.

Пока бесспорно лишь одно: существуют четыре модификации элементарного углерода, и каждая из них по-своему интересна.

### Углерод глазами химика-неорганика

Этот элемент всегда четырехвалентен, но, поскольку в периоде он находится как раз посередине, степень его окисления в разных обстоятельствах бывает то +4, то –4. В реакциях с неметаллами он электроположителен, с металлами – наоборот. Даже в тех случаях, когда связь не ионная, а ковалентная, углерод остается верен себе – его формальная валентность остается по-прежнему равной четырем.

Весьма немногочисленны соединения, в которых углерод хотя бы формально проявляет валентность, отличную от четырех. Общеизвестно лишь одно такое соединение – СО, угарный газ, в котором углерод кажется двухвалентным. Именно кажется, потому что в действительности здесь более сложный тип связи. Атомы углерода и кислорода соединены 3-ковалентной поляризованной связью, и структурную формулу этого соединения пишут так: О+ ≡ С–.

В 1900 г. М. Гомберг получил органическое соединение трифенилметил (C6Н5)3C. Казалось, что атом углерода здесь трехвалентен. Но позже выяснилось, что и на этот раз необычная валентность – сугубо формальная. Трифенилметил и его аналоги – это свободные радикалы, только в отличие от большинства радикалов достаточно стабильные.

...Исторически сложилось так, что лишь очень немногие соединения углерода остались «под крышей» неорганической химии. Это окислы углерода, карбиды – его соединения с металлами, а также бором и кремнием, карбонаты – соли слабейшей угольной кислоты, сероуглерод CS2, цианистые соединения. Приходится утешаться тем, что, как это часто бывает (или бывало) на производстве, недоработку по номенклатуре компенсирует «вал». Действительно, наибольшая часть углерода земной коры содержится не в организмах растений и животных, не в угле, нефти и всей прочей органике, вместе взятой, а всего в двух неорганических соединениях – известняке CaCO3 и доломите MgCa(CО3)2. Углерод входит в состав еще нескольких десятков минералов, достаточно вспомнить о мраморе СаСО3 (с добавками), малахите Сu2(ОН)2СО3, минерале цинка смитсоните ZnCO3... Есть углерод и в магматических породах, и в кристаллических сланцах.

Очень редки минералы, в состав которых входят карбиды. Как правило, это вещества особенно глубинного происхождения; поэтому ученые предполагают, что в ядре земного шара есть углерод.

Для химической промышленности углерод и его неорганические соединения представляют значительный интерес – чаще как сырье, реже как конструкционные материалы.

Многие аппараты химических производств, например, теплообменники, изготавливают из графита. И это естественно: графит обладает большой термостойкостью и химической стойкостью и при этом прекрасно проводит тепло. Кстати, благодаря этим же свойствам графит стал важным материалом реактивной техники. Из графита сделаны рули, работающие непосредственно в пламени сопловых аппаратов. В воздухе воспламенить графит практически невозможно (даже в чистом кислороде сделать это непросто), а чтобы испарить графит нужна температура, намного более высокая, чем развивающаяся даже в ракетном двигателе. И, кроме того, при нормальном давлении графит, как и гранит, не плавится.

Без графита трудно представить современное электрохимическое производство. Графитовые электроды используются не только электрометаллургами, но и химиками. Достаточно вспомнить, что в электролизерах, применяемых для получения каустической соды и хлора аноды – графитовые.

Об использовании соединений углерода в химической промышленности написаны многие книги. Карбонат кальция, известняк, служит сырьем в производстве извести, цемента, карбида кальция. Другой минерал – доломит – «праотец» большой группы доломитовых огнеупоров. Карбонат и гидрокарбонат натрия – кальцинированная и питьевая сода. Одним из основных потребителей кальцинированной соды была и остается стекольная промышленность, на нужды которой идет примерно треть мирового производства Na2CO3.

И, наконец, немного о карбидах. Обычно, когда говорят карбид, имеют в виду карбид кальция – источник ацетилена, а, следовательно, многочисленных продуктов органического синтеза. Но карбид кальция, хотя и самое известное, но далеко не единственное очень важное и нужное вещество этой группы. Карбид бора В4С – важный материал атомной техники (подробнее об этом см. в статье «Бор».), карбид кремния SiC или карборунд – важнейший абразивный материал. Карбидам многих металлов свойственны высокая химическая стойкость и исключительная твердость; карборунд, к примеру, лишь немного уступает алмазу. Его твердость по шкале Мооса равна 9,5...9,75 (алмаза – 10). Но карборунд дешевле алмаза. Его получают в электрических печах при температуре около 2000°C из смеси кокса и кварцевого песка.

### Углерод глазами химика-органика

По словам известного советского ученого академика И.Л. Кнунянца, органическую химию можно рассматривать как своеобразный мост, перекинутый наукой от неживой природы к высшей ее форме – жизни. А всего полтора столетия назад лучшие химики того времени сами считали и учили своих последователей, что органическая химия это наука о веществах, образующихся при участии и под руководством некоей странной «материи» – жизненной силы. Но скоро эту силу отправили на свалку естествознания. Синтезы нескольких органических веществ – мочевины, уксусной кислоты, жиров, сахароподобных веществ – сделали ее попросту ненужной.

Появилось классическое определение К. Шорлеммера, не потерявшее смысла и 100 лет спустя: «Органическая химия есть химия углеводородов и их производных, то есть продуктов, образующихся при замене водорода другими атомами или группами атомов».

Итак, органика – это химия даже не одного элемента, а лишь одного класса соединений этого элемента. Зато какого класса! Класса, поделившегося не только на группы и подгруппы – на самостоятельные науки. Из органики вышли, от органики отпочковались биохимия, химия синтетических полимеров, химия биологически активных и лекарственных соединений...

Сейчас известны миллионы органических соединений (соединений углерода!) и около ста тысяч соединений всех остальных элементов, вместе взятых.

Общеизвестно, что на углеродной основе построена жизнь. Но почему же именно углерод – одиннадцатый по распространенности на Земле элемент – взял на себя труднейшую задачу быть основой всего живого?

Ответ на этот вопрос неоднозначен. Во-первых «ни в одном из элементов такой способности к усложнению не развито в такой мере, как в углероде». Во-вторых, углерод способен соединяться с большинством элементов, причем самыми разнообразными способами. В-третьих, связь атомов углерода между собой, так же как и с атомами водорода, кислорода, азота, серы, фосфора и прочих элементов, входящих в состав органических веществ, может разрушаться под воздействием природных факторов. Поэтому углерод непрерывно круговращается в природе: из атмосферы – в растения, из растений – в животные организмы, из живого – в мертвое, из мертвого – в живое...

Четыре валентности атома углерода – как четыре руки. А если соединились два таких атома, то «рук» становится уже шесть. Или – четыре, если на образование пары затрачено по два электрона (двойная связь). Или – всего две, если связь, как в ацетилене, тройная. Но эти связи (их называют ненасыщенными) подобны бомбе в кармане или джину в бутылке. Они скрыты до поры до времени, но в нужный момент вырываются на волю, чтобы взять свое в бурной, азартной игре химических взаимодействий и превращений. Самые разнообразные конструкции образуются в результате этих «игрищ», если в них участвует углерод. В редакции «Детской энциклопедии» подсчитали, что из 20 атомов углерода и 42 атомов водорода можно получить 366319 различных углеводородов, 366319 веществ состава C20H42. А если в «игре» не шесть десятков участников, а несколько тысяч; если среди них представители не двух «команд», а, скажем, восьми!

Где углерод, там многообразие. Где углерод, там сложности. И самые разные по молекулярной архитектуре конструкции. Простенькие цепочки, как в бутане СН3 – CH2 – СН2 – СН3 или полиэтилене – СН2 – СН2 – CH2 – CH2 –, и разветвленные структуры (простейшая из них – изобутан); кольца с чисто углеродным скелетом (циклопропан, циклогексан, бензол) и те же кольца с «подвесками» (толуол, анилин); кольца, в которые вклинились посторонние атомы – гетероциклические соединения, например тиофен C4H4S, и конгломераты всевозможных колец (самый простой – нафталин, состоящий из двух бензольных колец). И все это структуры простейшие – амебы и инфузории органической химии.

Если продолжать аналогию с живой природой, то где-то на уровне мхов и лишайников окажутся почти все известные сейчас синтетические полимеры, например нейлон:

или широко применяемая в технике твердая фенолформальдегидная смола резит:

А на вершине усложнения – самые главные для нас полимеры: нуклеиновые кислоты и белки. Очень сложна и в большинстве случаев еще не расшифрована окончательно их структура. И каждое новое достижение в этой области еще и еще раз напоминает не только о могуществе современной науки, но и о необычайной сложности задач, стоящих перед тем, кто пытается постичь смысл жизни на молекулярном и субмолекулярном уровне. Вспомните хотя бы о двойной спирали молекулы ДНК или лабиринтной запутанности четырех цепей молекулы гемоглобина.

Несколько лет назад произошло событие мировой важности: был осуществлен полный химический синтез молекулы белка инсулина.

Это один из простейших по строению, но очень важный для жизни белок. Он ответствен за углеводный обмен в организме.

В молекуле инсулина две цепи, связанные дисульфидным (из двух атомов серы) мостиком. Одна из цепей состоит из 21 аминокислоты, причем внутри нее есть дисульфидное кольцо. В составе другой цепи – 30 аминокислот, также соединенных в строгой последовательности. Синтез первой цепи состоял из 89 этапов-реакций, второй – из 138. Наконец, последней, 228-й ступенью работы было соединение цепей.

Нужно ли говорить, что эта работа потребовала множества труда и времени. А в живой клетке синтез одной молекулы белка (даже намного более сложной, чем молекула инсулина) занимает всего 2...3 секунды.

Не стоит забывать еще об одной особенности белкового синтеза: сейчас известно более 20 аминокислот – структурных блоков, из которых строится белковая молекула. Общая условная формула всех аминокислот кажется простенькой:

Но под значком R могут скрываться различные группы атомов. Лишь в простейшем случае, в молекуле глицина, R – это атом водорода, а к примеру у гистадина R состоит из 11 атомов:

Очень важен порядок соединения аминокислот в молекуле белка. Установлено, например, что одна из тяжелых болезней крови происходит из-за того, что только в одном месте молекулы гемоглобина одна из аминокислот замещена другой (глутаминовая кислота – валином).

В молекулах белков – многие тысячи атомов. Там обязательно есть водород, кислород, азот; очень часто – сера. Но основа этих молекул – всегда углерод. И без углерода нет жизни, во всяком случае – на Земле.

Есть, правда, организмы, в которых содержание элемента №6 всего 0,1%. В ряске, затягивающей стоячий пруд, 2,5% углерода. Зато в более высокоорганизованном колокольчике его уже 10,2%. В организме мыши на долю углерода приходится 10,77%, а кошки – почти вдвое больше, 20,56%. Не это ли обстоятельство легло в основу общеизвестного явления, заключающегося в том, что кошка ловит мышку, а не наоборот?

Но шутки в сторону. Углерод заслуживает вежливого и серьезного отношения. Хотя бы потому что «элементами жизни» иногда называют и калий, и фосфор, и азот. Но если так, то какого определения заслуживает элемент, на основе которого действительно построено все живое?

#### И здесь одиннадцатый

По распространенности в земной коре – твердой оболочке на глубине до 16 км и в атмосфере на высоте до 15 км углерод занимает одиннадцатое место. Одиннадцатый он и по распространенности в атмосфере Солнца. А вообще в космосе углерода довольно много. Советские космические станции «Венера-4», «Венера-5» и «Венера-6» установили, что атмосфера утренней звезды состоит преимущественно из углекислого газа. Этот газ преобладает и в атмосфере Марса. А вот в атмосферах Сатурна, Юпитера, Урана и Нептуна наряду с аммиаком доминирует иное соединение углерода – метан. Углерод обнаружен в составе метеоритов и комет. С помощью спектроскопических наблюдений углерод найден и на далеких звездах. В спектрах относительно холодных звезд не раз наблюдались полосы поглощения, характерные для радикалов СН\*, CN\* и С2\*. Не без оснований предполагают, что радикалы СН\* и CN\* есть в газопылевой среде, заполняющей межзвездное пространство.

#### Помощник металлурга

Углерод – не металл. Но по некоторым характеристикам, в частности по теплопроводности и электропроводности, графит весьма «металлоподобен». Углерод – не металл, и тем не менее это один из важнейших для металлургии элементов. Именно благодаря ему совершенно непригодное в качестве конструкционного материала мягкое, слабое железо становится чугуном или сталью. В последние десятилетия получили распространение так называемые графитизированные стали, в структуре которых есть свободные микрокристаллы графита. В основном эти стали идут на производство инструмента, коленчатых валов, штампов и поршней, потому что им свойственна большая, чем у иных нелегированных сталей, прочность и твердость.

Как восстановитель углерод применяют не только в производстве чугуна, но и многих цветных металлов. Практически в роли восстановителя выступает кокс, в котором углерода 97...98%. А вот древесный уголь – первый, видимо, восстановитель в черной металлургии – в цветной металлургии нашего времени выступает в ином качестве. Из него делают так называемый покровный слой, предохраняющий расплавленный металл от окисления.

Не обходится без углерода и производство алюминия – металл нарастает на графитовом катоде.

А в доменном процессе обычно участвует не только элементарный углерод (в виде кокса), во и одно из соединений элемента №6. Обыкновенные плотные известняки применяют в качестве флюсов при выплавке чугуна из железных руд, содержащих в качестве пустой породы кремнезем и глинозем.

#### Пока еще основа

Уголь, нефть, горючие сланцы, торф, природный газ – материальная основа теплоэнергетики прошлого, настоящего и ближайшего будущего. Потому что, как ни радужны перспективы атомной энергетики, еще довольно много лет атом будет ходить в подсобных. Пока его доля в производстве электроэнергии сравнительно мала. Со временем роли, видимо, переменятся. Тогда «подсобниками» станут нынешние гегемоны – природные топлива на углеродной основе. И, видимо, придет время, когда горючие ископаемые будут целиком идти на химическую переработку. Пока же большая часть их отправляется в топки и двигатели, которые по существу тоже топки.

#### Синтез алмаза

В декабре 1954 г. американская фирма «Дженерал электрик» сообщила, что сотрудники этой фирмы Холл, Банди и другие получили искусственные алмазы в виде мелких треугольных пластин. Процесс синтеза вели под давлением порядка 100 тыс. атм. и при температуре 2600°C. Катализатором был тантал, а если говорить точнее, то алмаз из графита получали на тонкой пленке карбида тантала, образовывавшейся в ходе алмазного синтеза.

Впрочем, еще раньше, в феврале 1953 г., первые искусственные алмазы получила группа Эрика Гуннара Лундблада (Швеция), но шведские ученые не торопились с публикацией результатов своих трудов.

С тех пор, с середины 50-х годов XX в., успешные работы по промышленному синтезу алмазов ведутся в ряде стран. В нашей стране эту работу возглавили В.Н. Бакуль и академик Л.Ф. Верещагин. В подарок XXII съезду КПСС было изготовлено по отечественной технологии 2000 каратов (карат – 0,2 г) синтетических алмазов. Сейчас в нашей стране выпускается столько технических алмазов, сколько нужно технике. Известно, например, что в середине 70-х годов Горьковский автомобильный завод расходовал в год до 400 тыс. каратов искусственных алмазов. Один завод – 80 кг алмазов! Примерно столько же «тратил» их Сестрорецкий инструментальный завод и некоторые другие предприятия.

В мире уже производятся и синтетические алмазы ювелирного качества; обходятся они намного дороже природных.

Промышленный синтез алмазов – большое достижение науки и техники. Ученые шли к нему многие десятилетия. Большинство попыток, предпринимавшихся в прошлом, заканчивались неудачей. Но были и проблески. О двух из них и о синтезе алмаза в метеоритном веществе рассказывают следующие заметки.

#### Метеорит... съели

Немаловажной вехой в осознании возможности образования алмазов вне земной коры послужило обнаружение алмазных крупинок в метеорите, упавшем 10 (по старому стилю) сентября 1886 г. возле деревни Новый Урей Краснослободского уезда Пензенской губернии (ныне – Мордовская АССР).

Крупинки алмаза были обнаружены в метеоритном веществе преподавателями Петербургского лесного института доцентом-минералогом Михаилом Васильевичем Ерофеевым и профессором химии Павлом Александровичем Лачиновым (известен больше всего работами по холестерину, которыми занимался в последние годы жизни).

Осколки метеорита «Новый Урей» были присланы в Петербург бывшим студентом Лесного института учителем Павлом Ивановичем Барышниковым.

Приводим выдержки из его письма директору Лесного института: «...Рано поутру несколько новоурейских крестьян верстах в трех от деревни пахали свое поле... Вдруг совершенно неожиданно сильный свет озарил всю окрестность; затем через несколько секунд раздался страшный треск, подобный пушечному выстрелу или взрыву, за ним второй, более сильный. Вместе с шумом в нескольких саженях от крестьян упал на землю огненный шар; вслед за этим шаром невдалеке над лесом опустился другой, значительно больше первого. Все явление продолжалось не более минуты.

Обезумевшие от страха крестьяне не знали, что делать, они попадали на землю и долго не решались сдвинуться с места... Наконец один из них, несколько ободрившись, отправился к тому месту... и, к удивлению своему, нашел неглубокую яму; в середине ее, углубившись до половины в землю, лежал очень горячий камень черного цвета. Тяжесть камня поразила крестьян...

Затем они отправились к лесу разыскать второй, больший камень, но все усилия их были напрасны: лес в этом месте представляет много болот и топей, и найти аэролита им не удалось: по всей вероятности, он упал в воду.

На следующий день один из крестьян того же Урейского выселка отправился на свое поле посмотреть копны гречихи. Здесь совершенно случайно им найден был такой же точно камень, какой принесли накануне его соседи. Камень тоже образовал вокруг себя ямку; часть камня была в земле... Дальнейшие поиски крестьян в окрестностях Нового Урея не привели ни к чему. Следовательно, выпало всего три куска. Самый большой из них упал, без сомнения, в лесу в болото; второй по величине, упавший при крестьянах на пашне, приобретен мною и отослан Вам для минералогического кабинета института и, наконец, третий, найденный крестьянином в гречихе, съеден... Крупинки аэролита считались положительно универсальным лекарством. Распространились нелепые слухи о «чудесном исцелении», требования на «христов камень» усилились; счастливый владелец метеорита пользовался случаем и продавал камешек чуть не на вес золота, выказывая при этом слабости настоящего завзятого аптекаря. Прием «христова камня» производился таким образом: пациент, купивши ничтожный кусочек метеорита, толок и растирал его в порошок и затем, смешав с водой, благоговейно выпивал, творя молитву и крестное знамение...»

За открытие алмазов в метеорите Российская Академия наук присудила Ерофееву и Лачинову Ломоносовскую премию. А каких-либо следов того, что хоть кто-нибудь обратил внимание на беспросветную темноту крестьян, история не сохранила.

Небесное тело (вернее, часть его), присланное Барышниковым в институт, весило 1762,3 г; позже были получены еще два осколка – весом 21,95 и 105,45 г. Не считая двух десятков граммов, израсходованных Ерофеевым и Лачиновым на анализы, метеорит сохранился.

Его можно видеть и сейчас в Ленинградском горном музее.

#### Мы проделали такой опыт

К концу XIX в. число минералов, воссозданных человеком in vitro в лабораторном стекле, давно перевалило за сотню. Кварц, роговую обманку, тридимит, циркон – всего 11 минералов – получил первым профессор Петербургской военно-медицинской академии Константин Дмитриевич Хрущев. Он в числе первых ввел в практику лабораторных работ по синтезу минералов высокое давление. Именно Хрущев изобрел устройство, игравшее важную роль на протяжении многих десятилетий: олстостенную стальную «бомбу» с гнездом, в которое вставляется платиновая пробирка с реактивами, и массивной завинчивающейся стальной пробкой. Будучи нагрет до красного каления, такой сосуд способен месяцами выдерживать давление реагирующих в платиновом вкладыше веществ.

В начале 90-х годов Хрущев предпринял попытку повторить «эксперимент» природы, приводящий к появлению в метеоритах алмазных крупинок (после открытия Ерофеева и Лачинова, исследовавших каменный метеорит, такие же находки были сделаны в веществе железных метеоритов). Но для этой попытки стальная «бомба» уже не годилась.

Вот выдержки из доклада К.Д. Хрущева, сделанного им 4 марта 1893 г. на заседании Санкт-Петербургского императорского минералогического общества: «На основании находок в метеорите можно было прийти к мысли, что под сильным давлением углерод может выделяться из раствора в металле в виде алмаза. Мы проделали такой опыт. Насытив кипящее серебро углеродом, которого растворилось шесть процентов, я быстро охладил массу. Давление в ее середине не могло не повыситься под действием корки, сразу же затвердевшей снаружи. Последовавшее затем растворение получившегося слитка показало, что часть выделившегося углерода имеет свойства алмаза.

Порошок его состоит из прозрачных бесцветных кристаллических осколков и пластинок, сильно преломляющих свет, совершенно изотропных, царапающих корунд и сгорающих в углекислоту с незначительным остатком золы».

#### Еще о быстром охлаждении

В том же 1893 г. другой ученый, парижский профессор-химик Анри Муассан проделал такой же опыт, как и Хрущев (Муассан закончил свою работу несколько раньше, именно ему принадлежит первая публикация).

Располагая лучшим из возможных по тому времени источником нагрева – изобретенной им электрической дуговой печью, Муассан решил растворить углерод (сахарный уголь) в кипящем железе. Глубоким убеждением этого выдающегося ученого (кстати, иностранного члена-корреспондента Российской Академии наук.) было сформулированное им научное правило: «Опыт должен получаться всегда!» Это значит, что результаты эксперимента, настоящего эксперимента, отвечающего незыблемым законам природы, должны быть так же постоянны, как и эти законы.

А раз так, то все, что не относится к самой сути опыта, особого значения не имеет.

Вероятно, исходя из этого убеждения, Муассан и применил в своем опыте несколько необычную для научной лаборатории, но зато предельно простую «систему охлаждения» расплавленного железа. Он поставил на полу в лаборатории табурет, на него деревянную лохань, в лохань налил водопроводную воду. И когда пришло время охлаждать кипящее железо с растворенным в нем углеродом, профессор поднял клещами тигель и вылил его содержимое в лохань с водой! К счастью, Муассан все-таки надел перед этим очки и фартук, а загоревшуюся на нем одежду удалось потушить.

Когда бесформенный слиток, оставшийся в лохани после взрыва, был растворен в кислотах, из него выделили несколько крупинок. Они тонули в жидкости с удельным весом три, царапали рубин и корунд, почти целиком сгорали в кислороде...

Таковы два происшествия из истории искусственного алмаза.

#### Кандидат в самые прочные?

В 1975 г. были опубликованы расчеты, проведенные советскими химиками В.В. Коршаком, В.И. Касаточкиным и К.Е. Перепелкиным, согласно которым наибольшая теоретическая прочность из всех имеющихся на Земле веществ должна быть у линейного полимера углерода – карбина. Разумеется, такой ультра прочный карбин должен быть изготовлен в виде бездефектных нитевидных кристаллов. Раньше считали, что теоретически самое прочное вещество – графит (13 тыс. кг/мм2), для карбина же вычисленная величина предельной прочности почти вдвое больше – 22...23 тыс. кг/мм2.

Что нужно, чтобы материал был очень прочным? Во-первых, высокие значения энергии химических связей. Во-вторых, направления этих связей должны по возможности совпадать и идти вдоль оси кристалла. В-третьих, если вещество полимерного строения, нужно, чтобы степень его полимеризации была высокой. Четвертое обязательное условие – отсутствие в макромолекуле «слабых мест» и слабых связей. Все эти условия соблюдены в карбине, поэтому рекордные значения расчетной теоретической прочности, в общем, не удивительны.

#### Карбин в природе

В 1970 г. геофизики из Института Карнеги обнаружили в метеоритном кратере Рис на территории ФРГ новый минерал, состоящий на 99,99% из углерода. Но это, определенно, не были ни алмаз, ни графит. Исследования показали, что минерал из кратера Рис скорее всего представляет собой природную разновидность синтезированного несколькими годами раньше карбина.

#### Возраст – по 14С

Метод определения возраста исторических находок по содержанию в них радиоактивного изотопа углерода 14С разработан известным физиком, лауреатом Нобелевской премии Фрэнком Уиллардом Либби.

Углерод-14 – один из природных радиоактивных изотопов, период его полураспада 5570 лет.

Поток космических протонов, летящих со скоростью, близкой к скорости света, непрерывно бомбардирует Землю. Уже в верхних слоях атмосферы протоны сталкиваются с ядрами азота и кислорода. При таких столкновениях атомы разрушаются, в результате чего получаются свободные нейтроны, моментально захватываемые ядрами элементов воздуха, в первую очередь, конечно, ядрами атомов азота. И тогда происходит одно из чудес, признаваемых наукой, – взаимопревращение элементов: азот становится углеродом, только не простым, а радиоактивным углеродом-14.

Ядра углерода-14, распадаясь, испускают электроны и вновь превращаются в ядра азота.

Зная период полураспада изотопа, нетрудно подсчитать, сколько его теряется за любой промежуток времени. Подсчитали, что за год на Земле распадается примерно 7 кг радиоуглерода. Это означает, что на нашей планете естественным путем поддерживается постоянное количество этого изотопа – в результате ядерных реакций, идущих в атмосфере, Земля ежегодно «приобретает» около 7 кг 14С.

Земная атмосфера углеродом не богата. В ней всего 0,03% (по объему) двуокиси углерода СО2. Но в пересчете на вес это не так уж мало: общее содержание углерода в атмосфере – около 600 млн т. И в каждом биллионе молекул атмосферной СО2 есть один атом 14С. Эти атомы вместе с обычными усваиваются растениями, а оттуда попадают в организмы животных и человека. В любом живом организме есть радиоуглерод, который постепенно распадается и обновляется. В грамме «живого» углерода каждую минуту происходят 14 актов радиоактивного распада. Опыт показывает, что концентрация этого изотопа одинакова во всем живом на нашей планете, хотя в силу некоторых геофизических причин радиоуглерод «приземляется» преимущественно в полярных районах.

Но вот организм гибнет и перестает быть звеном непрерывно идущего на Земле круговорота углерода. Новый радиоуглерод в него уже не поступает, а радиоактивный распад продолжается. Через 5570 лет количество радиоуглерода в отмершем организме уменьшится вдвое, и в грамме углерода, извлеченного из дерева, срубленного 5570 лет назад, чувствительные счетчики за минуту зафиксируют уже не 14, а лишь 7 актов распада. Поэтому с помощью радиоуглерода можно определить возраст практически любого предмета, сделанного из материалов растительного или животного происхождения.

Датировка предметов древности по радиоуглероду в высшей степени удобна и достаточно точна. Причиной тому период полураспада 14С – 5570 лет. Возраст человеческой культуры – величина того же порядка...

Этот метод помог определить даты древних вулканических извержений и время вымирания некоторых видов животных. Он помог разоблачить не одну археологическую подделку, когда за свидетельства древности выдавались, например, черепа с подпиленными зубами.

Но главной заслугой метода следует, видимо, считать установление времени ледниковых периодов.

Радиоуглеродные измерения показали: за последние 40 тыс. лет на Земле было три ледниковых периода. Самый поздний – примерно 10400 лет назад. С тех пор на Земле относительно тепло.

#### Свидетельство Фридриха Вёлера

Этот немецкий химик, синтезировав в 1824 г. мочевину, пробил первую брешь в учении виталистов (от vitalis – жизненный), считавших, что нельзя получить органические вещества без помощи «жизненной силы». Правда, те не растерялись и объявили, что, дескать, мочевина – отброс организма, и потому ее можно синтезировать и без помощи «жизненной силы». Но в середине XIX в. это учение стало «трещать по швам» под напором все новых и новых органических синтезов. Однако до появления теории химического строения, созданной Александром Михайловичем Бутлеровым, в среде органиков царил разброд. Теории рождались и умирали с частотой бабочек-однодневок.

Известны слова Вёлера, сказанные в 1835 г.: «Органическая химия может ныне кого угодно свести с ума... она представляется дремучим лесом, полным чудесных вещей, огромной чащей без выхода, без конца, куда не осмеливаешься проникнуть».

#### Изомерия и запах

Вещества одинакового состава, но разного пространственного расположения называют изомерами. О том, как сказывается эта разница на свойствах, можно судить на примере довольно простого органического соединения – ванилина и его аналога изованилина. Ванилин – одно из наиболее известных душистых веществ, его приятный запах знаком, по-видимому, всем. А изованилин при нормальных условиях почти не пахнет, если же его нагреть, распространится малоприятный запах, подобный запаху карболки. Ароматы разительно отличаются, а разницы в составе нет:

